



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

APLICACION DEL MODELO HISTORIOGRAFICO DE
DAVID HULL A LOS ORIGENES DE LA BIOLOGIA
MOLECULAR.

CONTRASTACION DE UN MODELO EVOLUTIVO DEL
DESARROLLO DE LA CIENCIA.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRA EN CIENCIAS
(ENSEÑANZA E HISTORIA DE LA BIOLOGIA)

P R E S E N T A :

BIOL. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

MAYO DE 1992



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

INTRODUCCION

CAPITULO I La Epistemología Evolutiva y el Modelo Historiográfico de David Hull.

1.1 Perspectiva general de la Epistemología Evolutiva

1.1.1 Breve recuento histórico

1.2 El desarrollo de la Ciencia de acuerdo al modelo seleccionista de Hull

1.2.1 Características generales de la ciencia, la filosofía de la ciencia y la "ciencia de la ciencia"

1.2.2 Los procesos generales de selección

1.2.3 Adecuación inclusiva conceptual y competencia interdémica

Notas al capítulo I

CAPITULO II La determinación de los problemas de la genética molecular.

2.1 La influencia de los físicos

2.1.1 Migración hacia la Biología

2.1.2 El papel de la Fundación Rockefeller en el nacimiento de la Biología Molecular

2.2 Conformación de los grupos de estudio

2.2.1 El grupo del fago y la elección de un objeto de

estudio

2.2.2. El grupo de investigación de la medicina

2.2.3 El grupo estructuralista y su metodología

2.2.4 La escuela química de Linus Pauling

2.2.5 En torno a otros grupos de investigación

2.2.5.1 Los trabajos de Chargaff

2.2.5.2 El grupo [sic] del King's College de Londres

Notas al capítulo II

CAPITULO III La estructura de Watson y Crick del DNA

3.1 La reunión de antecedentes

3.1.1 Formación científica de Watson y Crick

3.2 Las conjeturas y el rigor en la construcción de un modelo

3.2.1 El primer intento (o la importancia de lo supuestos)

3.2.2 La construcción del modelo de doble hélice

3.2.3 La cuestión del método

3.3 Vista general de la contrastación histórica con el modelo de Hull

3.3.1 El problema de la competencia entre diferentes grupos de investigación

3.3.2 Aspectos de la historia de la ciencia no considerados por el modelo de Hull

Notas al capítulo III

CAPITULO IV. El modelo seleccionista de David Hull desde la perspectiva de la Biología

4.1 Ubicación del modelo de Hull dentro de la perspectiva evolucionista contemporánea

4.1.1 Las críticas al programa adaptacionista, la genética de poblaciones y el gradualismo

4.1.2 La utilización de Hull de algunos conceptos biológicos

4.2 El papel del reduccionismo en el discurso biológico contemporáneo

4.2.1 Reduccionismo y biología molecular

4.2.2 La estrategia de investigación reduccionista en la biología evolutiva

Notas al capítulo IV

CONCLUSIONES

APENDICE. Lista de artículos originales de la Biología Molecular en relación a la revista especializada en que aparecieron.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

México, D. F., a 22 de ABRIL DE 1992.

DR. LIC. PEDRO G. ZORRILLA MARTINEZ
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNAM
P R E S E N T E .

CON EL TÍTULO DE: "DESARROLLO DE LA DEMOCRACIA EN LA FORMACIÓN DE LOS PARTIDOS POLÍTICOS EN EL SISTEMA ELECTORAL MÉXICO-BRASIL", PRESENTO LA TESIS COMO REQUISITO, ANALIZADA Y REVISADA EN EL SEMINARIO DE DERECHO CONSTITUCIONAL E AMPARO, POR EL DR. F. BERLÍN VALENZUELA, PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTORA EN DERECHO, QUE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE DERECHO DE LA UNAM TIENDE A OTORGAR AL FINALIZAR LOS RESPECTIVOS SEMESTRES QUE ABARCAN LAS MATERIAS PRESCRITAS EN SU REGLAMENTO.

LA INVESTIGACIÓN FUE ELABORADA EN CINCO CAPÍTULOS ILUSTRATIVOS, COMPRENDIENDO EL PRIMERO: LA FORMACIÓN DEL ESTADO COMO CONSECUENCIA REPRESENTATIVA DE UN PODER SOBERANO.

EL SEGUNDO, ACONDICIONA LA DEMOCRACIA EN SU DIVERSIDAD DE CONCEPCIONES, ADAPTANDO SEGÚN LAS INSTITUCIONES, MODIFICACIONES EN LOS SISTEMAS CONTEMPORÁNEOS HACIA LA MODERNIDAD, QUE EN SU DINÁMICA CONCIBE NUEVAS DENOMINACIONES.

EN EL TERCERO, SE MENCIONA LA FORMACIÓN HISTÓRICA, LA ESTRUCTURA, LA ORGANIZACIÓN Y TRASCENDENCIA DE LOS NUMEROSOS PARTIDOS POLÍTICOS, CORRESPONDIENTES A LAS ÉPOCAS QUE SE SUCEDEN, TANTO EN MÉXICO COMO EN BRASIL.

EL CUARTO, ESTÁ DEDICADO A LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA ELECTORAL MEXICANO, SUJETO A CONSTANTES CAMBIOS EN SUS LEYES QUE PERSIGUEN DEMOSTRAR LA PLURALIDAD SOSTENIDA POR UN PROCESO ELECTORAL CON LA AUTONOMÍA DE UN TRIBUNAL FEDERAL ELECTORAL.

EL QUINTO Y ÚLTIMO SE PROPONE ESTABLECER LOS PRINCIPIOS DOCTRINALES DEL DERECHO ELECTORAL BRASILEÑO QUE REPRESENTA EL MARCO JURÍDICO DE SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA, A TRAVÉS DE DIFERENTES ETAPAS, ADECUANDO Y DEFINIENDO LA DEMOCRACIA CON ACENTUADOS PERÍODOS DE INTERRUPCIÓN EN LA REPRESENTACIÓN LEGAL, LOGRANDO CON AUTONOMÍA LA VICTORIA DEL SISTEMA ELECTORAL EN BRASIL.

CON NUMEROSAS CONCLUSIONES PARA LOS DOS SISTEMAS ANTERIORMENTE MENCIONADOS, REITERO: CON EXPRESIÓN Y EVIDENCIA, LA NECESIDAD DE LA CÁTEDRA DE DERECHO ELECTORAL OBLIGATORIA EN LAS FACULTADES DE DERECHO EN MÉXICO Y LA

... /

PROPUESTA DEL VOTO DISTRITAL MIXTO, CONSIDERANDO ÉSTE ÚLTIMO, COMO ELEVACIÓN PARA LA CATEGORÍA DE LA REPRESENTACIÓN EN EL CONGRESO DE LA UNIÓN, GARANTIZANDO LA IDONEIDAD EN LOS SISTEMAS ELECTORALES PARA AMBOS PAÍSES.

A T E N T A M E N T E ,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Marly Haydt de Almeida". The signature is written in a cursive style with some loops and flourishes.

ETC. MARLY HAYDT DE ALMEIDA

Mexico, D.F., April 22, 1992.

DR. LIC. PEDRO G. ZORRILLA MARTINEZ
DIRECTOR OF POSTGRADUATE STUDIES
FACULTY OF LAW, UNAM
P R E S E N T .

As required, this presents my thesis entitled 'Development of Democracy in the formation of political parties in the Mexico-Brazil Electoral System', analyzed and reviewed by Dr. F. Berlin Valenzuela in the Constitutional Law Seminar and "Amparo" (constitutional lawsuit for the protection of private guarantees), to obtain the degree of Doctorate in Law granted by UNAM'S Law Department's Division of Post-graduate Studies upon completion of the required courses.

This investigation includes five chapters, the first: The formation of a State as a representative consequence of a sovereign power.

The second chapter, conditions democracy by its diversities in concept, adapting according to the respective institutions, modifications in contemporary systems towards modernity, conceiving new denominations as a result of its dynamics.

The third embarks historical formation, structure, organization and penetrations of numerous political parties, corresponding to the respective time-periods in which they occur, in Mexico, as well as in Brazil.

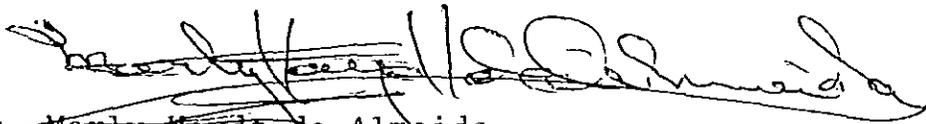
The fourth chapter is dedicated to the Evolution of the Mexican Electoral System, subject to constant changes in its laws demonstrating, the plurality sustained by the electoral process with the autonomy of the Federal Tribunal Electorate.

The fifth and last proposes the establishment of the Basic Principles of the Brazilian Electoral Law representing the judicial framework of its historical evolution, through different stages, adequating and defining democracy with accentuated interruptions in legal representations, achieving an autonomous victory of the Electoral System in Brazil.

With numerous conclusions for the systems previously mentioned, I reiterate: with expression and evidence, the requirement of the Electoral Law coursework as required by the Faculty of Law in Mexico, and the proposal of mixed vote by district,

considering the latter as an categorical improvement in Congressional representation, guaranteeing the welfare of the electoral systems in both countries.

Cordially,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Marly Maydt de Almeida". The signature is written in a cursive style with some overlapping strokes.

Lic. ~~Marly Maydt de Almeida.~~

INTRODUCCION

La filosofía y la historia de la ciencia son disciplinas que, en la actualidad y para la mayoría de los autores, se consideran estrechamente relacionadas, si bien los productos u objetivos de ambas son muy distintos. Al menos en la tradición anglosajona, se considera que "la investigación histórica es una narración acerca de hechos particulares del pasado. Es, en parte, una descripción de lo que ocurrió[...]"; mientras que el filósofo "trata ante todo de llegar a generalizaciones explícitas y especialmente a las que poseen validez universal. No es un narrador verídico o falso. Su objetivo es descubrir y establecer lo que es verdad en todo tiempo y lugar" (Kuhn, 1977-1987 p.28-29).

Como decíamos, a pesar de estas diferencias notables, en los últimos treinta años se ha venido dando un acercamiento que consiste, básicamente, en que la historia de la ciencia actúa como fuente de datos y perspectivas para las reconstrucciones racionales de la filosofía de la ciencia, con el objetivo de que esta última se refiera más adecuadamente al desenvolvimiento real de la actividad científica. Asimismo, la reflexión filosófica provee a la historia de un marco teórico bajo el cual se investigan, organizan, e interpretan los datos del desarrollo científico.

Así, por ejemplo, la historia de la ciencia ha destacado la naturaleza dinámica de las teorías científicas, en contra de una visión estática más propia de la filosofía (en especial la

filosofía del positivismo lógico predominante en la primera mitad del siglo); de este modo la filosofía ha recurrido a los casos históricos que de mejor manera muestran la naturaleza siempre en desarrollo de la ciencia y, a su vez, ha proporcionado los marcos teóricos a partir de los cuales se reconstruye la historia concreta.

Dentro de esta corriente de pensamiento que busca integrar a ambas disciplinas se encuentran las llamadas epistemologías evolucionistas. En ellas se enfatiza el carácter dinámico-evolutivo de la ciencia para comprender la estructura del quehacer científico. Ahora bien, existen muchos tipos de epistemologías evolucionistas (capítulo I), y la inmensa mayoría de ellas hace uso de la teoría darwinista de la evolución como analogía del proceso de evolución en la ciencia.

En realidad el uso de la teoría de Darwin para explicar fenómenos estrictamente sociales -incluida la ciencia- es un tema que se origina con la filosofía positivista del siglo XIX (por ejemplo, Herbert Spencer) , y si bien ha sido ampliamente criticado, asombra la reiteración de su presencia. La crítica a las implicaciones políticas-ideológicas de esa postura no es, definitivamente, el objeto de esta tesis, si bien en muchas ocasiones será inevitable una referencia a tales aspectos del problema.

La utilización actual de la teoría de la selección natural tiene relevancia histórica y filosófica en el siguiente sentido: las explicaciones de tipo selectivo se distinguen tanto de las explicaciones causales-deterministas de la física y la química, como de las explicaciones descriptivo-generales de las ciencias

sociales. De ahí su riqueza y el interés por construir modelos historiográficos y filosóficos que las integren.

Como la teoría de la selección natural de la cual parten, los modelos historiográficos y epistemológicos de este programa de investigación incorporan en sus explicaciones fenómenos y elementos de tipo azaroso, así como de tipo necesario. La definición de las condiciones científicas de evolución (conceptos, teorías, programas completos de investigación o tradiciones), y la delimitación de lo que se considerará el medio en el cual se desenvolverá la ciencia (los criterios específicamente racionales de la ciencia, los criterios propios de una disciplina o de la comunidad científica, o la sociedad en general) proporcionan un alto grado de libertad para el autor de estos modelos. Así, veremos que el modelo evolucionista de David L. Hull (quien es actualmente uno de los más importantes filósofos de la biología) incorpora elementos de la organización social de la ciencia para explicar la adhesión de los investigadores a los valores tradicionalmente relacionados con la ciencia: honestidad intelectual, rigor y exactitud, búsqueda de adecuación empírica a la realidad, etc.

Ahora bien, ¿cuál es el objetivo de elaborar un trabajo de tesis como el presente? ¿Por qué elaborar una reconstrucción histórica más de los orígenes de la biología molecular, tema abundantemente tratado por los historiadores profesionales y por los propios científicos?

Nuestro primer objetivo será el de cuestionar y analizar los

supuestos mas "adheridos" a las reconstrucciones comunes de los orígenes de la biología molecular. Ello se basa, por un lado, en una convicción general, respecto a que la Historia es una disciplina que nunca termina de elaborarse. Cada época, e incluso cada autor, reelabora la descripción e interpretación del pasado, ya sea aportando nuevos datos que enriquecen o refutan una determinada visión de ella, o tan solo reinterpretando los mismos datos que otros han recopilado. En este sentido cada historiador somete a juicio los datos, interpretaciones y supuestos de historiadores anteriores. Por otra parte, en el caso que nos ocupa, han sido los propios protagonistas de estos eventos históricos los que en muchas ocasiones los han relatado y, al hacerlo, han elaborado una visión parcial de ellos que merece nuestra atención crítica.

Así pues, el presente trabajo prácticamente no aportará ningún elemento empírico que no se encuentre en la literatura común y especializada; se trata, en general, de una tesis sostenida principalmente en fuentes históricas secundarias, si bien se ha buscado explícitamente atenderse a aquéllas que son consideradas mas fidedignas por la propia comunidad de historiadores y, cuando ha sido posible, nos hemos remitido a fuentes históricas primarias como lo son los propios artículos científicos y las entrevistas y declaraciones personales de los investigadores involucrados. En ocasiones, también se destacarán elementos empíricos que, aunque presentes en la literatura, parecen haber pasado desapercibidos para las subsiguientes reconstrucciones históricas, pero que a nosotros nos han parecido relevantes.

En el caso de la biología molecular, la elaboración de historias por parte de los propios científicos, en las que ellos

participaron directamente representa simultáneamente una ventaja y una desventaja para el historiador. Por un lado tenemos la aportación numerosa de detalles de la vida científica y personal que sería, prácticamente imposibles de obtener a partir de los documentos oficiales y los artículos especializados. Pero por otro lado la comunidad científica, como toda "subcultura" tiene sus propias creencias y mitos, siendo los más fuertes los que se refieren, precisamente, a ellos mismos y a su actividad (Abir-Am, 1982b). Si partimos de que el propio historiador también pertenece a una "subcultura" determinada, se hace evidente la dificultad de elaborar ya no una "historia verdadera" -un objetivo que queda totalmente fuera de la historiografía contemporánea-, pero sí una historia capaz de contextualizar, por un lado, los eventos tanto en su lugar y tiempo original, como en su importancia relativa y, por otro lado, las propias limitaciones de la actividad historiográfica.

Un segundo objetivo general de este trabajo lo constituye la contrastación del modelo evolucionista del cambio conceptual de David Hull con una reconstrucción histórica - la de los orígenes de la biología molecular. Sin embargo, para llevar a cabo dicha reconstrucción histórica no podemos partir de la elaboración exclusivamente empírica y supuestamente "neutral" de los datos. La propia reconstrucción parte -como señalamos- de una serie de supuestos teóricos y culturales, y en este caso se auxiliará del propio modelo de Hull para señalar aspectos de la historia que de otro modo pasarían inadvertidos. Ahora bien, la consulta de materiales de diferentes autores y la referencia a aspectos no considerados por el modelo de Hull, nos impedirán ser

absolutamente limitados por su propia perspectiva y de ese modo quedar incapacitados para un análisis crítico (ver Lakatos, 1975). Esta reconstrucción histórica, la cual no puede contradecir los elementos empíricos aceptados por la generalidad de los historiadores, ni la exigencia de establecer una conexión explicativa entre los eventos, se irá contrastando alternadamente con el modelo de Hull, si bien en los apartados finales se hará referencia casi exclusiva a aquellos aspectos de la historia de la biología molecular que parecen no poder ser abarcados por el modelo evolucionista de este autor.

Existe un tercer objetivo en la elaboración del presente trabajo. En particular el modelo de David Hull, tal y como es presentado en su libro Science as a Process (1988) representa un acercamiento lleno de sugerencias y aportaciones no solo al campo de la filosofía y de la historia de la ciencia, sino al mismo campo de la biología evolutiva. En efecto, Hull es uno de los principales filósofos de la biología debido a su profundo conocimiento de la disciplina; así que sus aportaciones a la clarificación de muchas discusiones son importantes incluso con un interés estrictamente biológico.

Sin embargo, tampoco coincidimos siempre con su postura frente a un cierto número de problemas de la biología contemporánea. En particular hemos creído identificar el propio "linaje conceptual" (para usar sus propias palabras) al que pertenece Hull, y este se encuentra cercano a una estrategia de investigación reduccionista, común a la biología molecular y a una parte de la actual biología evolutiva. Como afirmamos al

principio, en esta tesis no se tratarán explícita y profundamente los aspectos políticos e ideológicos del asunto, pero si será un objetivo el argumentar por qué los modelos evolucionistas de la historia de la ciencia se localizan dentro de esa tradición, que no casualmente es una de las tradiciones mas importantes de la biología en este siglo. Al respecto, el éxito de las explicaciones reduccionistas de la misma biología molecular explican la pretensión de extenderla a otros campos de la biología.

Con base en lo anterior este trabajo está dividido en cuatro capítulos principales. El capítulo I, "La epistemología evolutiva y el modelo historiográfico de David Hull" busca delimitar el conjunto de enfoques conocidos bajo este nombre, así como la ubicación tanto histórica como conceptual del modelo seleccionista de Hull.

Los capítulos II y III serán los propiamente históricos. El capítulo II, "La determinación de los problemas de la genética molecular" relata los antecedentes y condiciones de posibilidad del enfoque molecular en la biología; dichas condiciones incluirán aspectos muy distintos, tanto de tipo socioeconómico, como de tipo conceptual, y muy especialmente la organización de los científicos en diferentes grupos de investigación. En cambio, el capítulo III "La estructura de Watson y Crick del DNA" se centrará en los eventos del corto periodo de cooperación entre Watson y Crick, los cuales les llevaron a proponer el modelo de doble hélice del DNA.

Por último, el capítulo IV, "El modelo seleccionista de David

Hull desde la perspectiva de la biología" intenta situar el modelo de este autor en la polémica actual en torno a la(s) teoría(s) de la evolución. El problema se aborda también desde la perspectiva de la discusión en torno al reduccionismo en la biología -evolutiva y molecular-, con la intención de asignar el "linaje conceptual" al que pertenece el propio Hull.

Asimismo, se incluye al final del trabajo un Apéndice sobre los "Artículos originales de la biología molecular en relación a la revista especializada en que aparecieron", en sustitución muy limitada de los análisis llevados a cabo por Hull de la correspondencia y la historia de los consejos editoriales de revistas especializadas, los cuales demuestran la importancia de la organización en grupos para el desarrollo de la ciencia.

CAPITULO I: LA EPISTEMOLOGIA EVOLUTIVA Y EL MODELO
HISTORIOGRAFICO DE DAVID HULL.

1.1 Perspectiva General de la Epistemología Evolucionista

La Epistemología Evolucionista es un tipo de epistemología naturalizada, es decir, básicamente descriptiva antes que normativa, que tiene como objeto de estudio el conocimiento, especialmente el científico, y su desarrollo, situando su problemática en el marco más general de la evolución biológica y social del hombre. En la epistemología evolucionista la consideración del ser humano como un ser natural producto de la evolución orgánica, implica la idea de que aún las capacidades consideradas distintivas o específicas de su humanidad, tales como la razón y el lenguaje, puedan ser estudiadas desde una perspectiva científica-naturalista.

Ahora bien, a pesar de que hemos hablado de una "epistemología evolucionista", en realidad se denomina así a un conjunto de propuestas muy diferentes, constituidas por aseveraciones muy distintas y cuya única característica común es la de establecer una relación de analogía entre el proceso de evolución biológica y el proceso de producción y desarrollo de las capacidades cognoscitivas y del conocimiento.

Es importante destacar desde un inicio que este gran conjunto de propuestas evolucionistas en la epistemología contienen una

serie de aseveraciones con las cuales discordamos, y quisiéramos señalar lo que nos parecen dos equívocos comunes a ese enfoque. El primero es la consideración sino exclusiva si primordial del hombre como un ser natural, en contra de una visión tradicional que lo considera integralmente como el producto de una creación especial, y también en contra de la perspectiva dualista cartesiana, según la cual tan solo el cuerpo y sus funciones pueden ser objeto de la ciencia natural materialista, mientras que las capacidades racionales quedan fuera de este tipo de análisis. Dentro de la epistemología evolutiva algunos autores (por ejemplo, Wuketits, 1984) consideran que la noción cartesiana del dualismo cuerpo-espíritu es "oscurantista", y sostienen que la única postura objetiva y racional acerca del hombre es la de considerarlo como un ser natural. Coincidimos solo parcialmente con ello, ya que si bien la noción dualista cartesiana ha sido superada filosóficamente y científicamente, no lo ha sido por un biologismo, sino por una consideración dialéctica -sin abusar de esta palabra- de la naturaleza y de la conciencia (de origen social-histórico) en el hombre.

Nuestra postura, pues, no consiste en sostener la exclusividad de las determinaciones sociales para la comprensión de los problemas relativos al desarrollo del conocimiento, sino más bien el hecho de que el hombre es un ser en donde las determinaciones naturales y las sociales ocurren conjuntamente en una compleja relación que incluye interacciones y retroalimentaciones, y que es erróneo pasar por alto el carácter social-histórico del hombre así sea con fines estrictamente formales. Es decir, que un tratamiento de los problemas relativos a la producción y desarrollo del conocimiento no puede hacer caso

omiso de los elementos sociales y culturales llamados con anterioridad "externos" al desenvolvimiento de la ciencia.

La segunda objeción a este tipo de enfoque (que asumen tacitamente Hull, 1988; Bradie, 1989 y otros) es el supuesto de que la única forma de hacer ciencia "legítima" es la forma "naturalista", a la cual están llamadas a imitar las ciencias sociales. Independientemente del hecho de que ésta es una discusión viva entre y contra las ciencias sociales, la consideración antes señalada del hombre como un ser natural y social nos obliga a considerar la dimensión social-histórica como parte indispensable de cualquier consideración científica de las manifestaciones humanas. Las epistemologías naturalizadas son, así, enfoques que se encargarán de estudiar desde una perspectiva pretendidamente "científica" el conocimiento, auxiliándose principalmente de la psicología del conocimiento y de la teoría evolutiva, "naturalizando", y en ocasiones "biologizando" todo el proceso de adquisición de capacidades y conocimiento.

Como ya señalábamos, la especificidad de la epistemología evolutiva radica en el establecimiento de una relación de tipo analógico que, si bien se pretende buscar entre el proceso de evolución biológica y el de evolución del conocimiento, generalmente ocurre a un nivel teórico, es decir, entre una teoría -o parte de una teoría contemporánea- de la evolución biológica y una teoría de la evolución del conocimiento, que es la que se busca construir por medio de la analogía. Generalmente dicha relación analógica se establece mediante la incorporación del mecanismo de la selección natural -propuesto por primera vez

por Darwin- a las distintas esferas de la vida individual y/o social que cada autor considere pertinentes para la comprensión teórica del proceso de la producción y el desarrollo de las ideas científicas. Así pues, como veremos, existe un gran número de formas de construir una epistemología evolutiva, y la primera división sería entre aquellas que establecen una "analogía débil" o meramente heurística entre ambos procesos y/o teorías, y aquellas que establecen una analogía más estrecha. En el primer caso la teoría de la evolución o el mecanismo de la selección natural son adoptados como mera metáfora o heurística, que permite destacar algunas cualidades del conocimiento que habían pasado inadvertidas, mientras que en el segundo caso la analogía puede requerir que ambos procesos queden explicados por un mismo mecanismo, en este caso el de la selección natural.

En efecto, la primera cuestión a resolver al intentar analizar a las "epistemologías evolucionistas" es la del papel lógico que juega la incorporación de una teoría como la de la selección natural a la comprensión del problema del conocimiento. Por ejemplo, T. S. Kuhn, sin ser un epistemólogo evolucionista, ha usado, bastante polémicamente, la teoría de la selección natural como una metáfora o heurística del desarrollo no teleológico de la ciencia, alegando que en su forma ambos procesos son similares.

Ruse (1986, 1987) ha establecido una definición más estricta de la relación analógica entre una teoría de la evolución biológica y una de la evolución del conocimiento. Esta puede ser del tipo de "descubrimiento", con valor meramente heurístico, o de "justificación". La primera es una relación entre dos entidades o procesos similares que permite descubrir

características en una de ellas que no habían quedado explícitas hasta el establecimiento de la comparación entre ambas entidades; en este caso la analogía tendrá un valor exclusivamente heurístico, e incluso la vaga alusión de Kuhn podría clasificarse en este tipo de analogía [1]. Por otra parte, la analogía por justificación requiere que la similitud en las características de las dos entidades analogadas se justifique con una causa o explicación común que las abarque; en ese caso la ausencia de una característica "x" en una de las entidades demostrará la inexistencia de la analogía. De acuerdo con Ruse, si el programa de la epistemología evolucionista ha de "tomarse en serio", lo que deberá buscarse es este segundo tipo de analogía. Sin embargo, si adoptáramos su definición de la analogía por justificación lo que obtendríamos no es una relación entre dos procesos o teorías con elementos similares sino, de hecho, una identidad entre ellos.

El modelo seleccionista de cambio conceptual propuesto por David Hull es sui generis en un sentido: antes que establecer una analogía entre ambos procesos, su objetivo es el de construir una teoría general de los procesos selectivos, la cual explicará tanto la evolución biológica como la socio-cultural. Si bien este intento podría ubicarse como un tipo de analogía por justificación al estilo de Ruse (1987), la delimitación es difícil, ya que Hull propone una teoría, no un mecanismo que justifique a ambos procesos. El status de dicha teoría general es, además, incierto, debido a que a que no se aclara a qué entidad podría referirse; y el mecanismo selectivo propuesto por esa teoría general deberá instanciarse en aplicaciones concretas.

En el caso de este modelo selectivo de cambio conceptual propuesto por Hull, el autor intenta establecer la existencia de los mismos elementos de la evolución biológica en el proceso de cambio conceptual. Para ello definirá de manera general a dichos elementos del proceso selectivo, los cuales incluirán los requisitos señalados por Lewontin (1970) -variación fenotípica, adecuación diferencial, adecuación heredable y herencia weissmaniana- así como a las entidades denominadas por Dawkins (1987) -replicadores, interactores, y selección- a lo cual añade Hull (1988) la noción de "linaje". Así pues, este modelo que intenta explicar tanto el cambio biológico como el sociocultural a partir de una teoría general de los procesos selectivos, parece desarrollar por lo menos una analogía de tipo estrecho, lo que lo hace relevante para un tipo de contrastación que tenga como objetivo encontrar los mismos elementos en ambos tipos de procesos.

Volviendo a los diferentes tipos de epistemología evolucionista, nos encontraremos que en ellas también variará, entre otras cosas, aquello que se considere como factores de tipo selectivo -de las ideas y teorías, de los programas de investigación o de los equipos de trabajo o escuelas-, ya que estos pueden ser considerados como estrictamente racionales, o convencionales a la propia comunidad científica o, más aún, dependientes de las necesidades específicas de una sociedad dada. La epistemología evolutiva no necesariamente forma parte de la sociobiología, ya que la mayoría de los autores considera que las unidades de lo transmisible o heredable -en este caso ideas,

métodos. teorías- y del aparato selectivo - la comunidad científica, las evidencias empíricas, etc.- no son de tipo biológico-genético.

Un ejemplo de las aseveraciones más o menos comunes sostenidas por los autores evolucionistas en la epistemología serían los postulados que, según Wuketits (1984) comparten este tipo de enfoques. De acuerdo a este autor a pesar de la diversidad de modelos podrían enunciarse cinco postulados generales de la epistemología evolutiva, que exponemos a continuación agregando un primer análisis crítico de sus supuestos y consecuencias:

Primer postulado: "Todos los organismos se encuentran equipados con un sistema de disposiciones innatas; ningún sistema vivo individual es inicialmente un "estado limpio" o tabula rasa".

Este primer postulado resulta piedra clave en la crítica de Karl Popper al inductivismo desde una perspectiva deductivista [2] y corresponde al intento realizado por Popper y D. Campbell en filosofía, y por K. Lorenz y R. Riedl en la biología, por "naturalizar" y explicar el a priori kantiano. Es decir, bajo la perspectiva dinámica del siglo XX (heredada del siglo XIX) se busca encontrar el origen de las estructuras a priori del conocimiento, lo cual se hace mediante el concepto de evolución. Bajo esta perspectiva las categorías kantianas del pensamiento y la intuición son ahora el producto a posteriori de la selección natural. De aquí se sigue el segundo postulado:

Segundo: "Las disposiciones innatas son el resultado de la selección natural; son el producto de los mecanismos selectivos

que, dentro de todos los "productos iniciales" de la naturaleza, favorece y estabiliza el que mejor se acopla a las condiciones de la vida y la supervivencia".

Desde Darwin se ha adoptado una visión evolutiva de los comportamientos innatos, sin embargo este es un problema que de ninguna manera se encuentra resuelto, y la postura contraria a esta etología darwinista -la cual enfatiza el proceso de aprendizaje y socialización- tampoco ha podido dar respuestas satisfactorias en todos los casos.

En este momento cabría tan sólo destacar una confusión y una crítica comunes a las propuestas de tipo darwinista: la confusión consiste en la identificación de lo "innato" con lo "genético" y, por ahí, derivar el origen evolutivo-selectivo de un comportamiento dado (ya que, como sabemos, sólo las características que son hereditarias genéticamente pueden ser seleccionadas). Lewontin, Kamin y Rose (1984) afirman que el proceso de ontogénesis de cualquier especie así como las primeras experiencias de un ser humano recién nacido son tan complejas que hay mucho lugar y fundamento para pensar en una gran plasticidad extragenética de los sistemas nerviosos. Así, no es siempre claro el origen de un comportamiento que se presente a muy temprana edad.

La crítica sería en contra de la identificación entre las "capacidades cognoscitivas" y los "productos de la mente". Practicamente en la actualidad nadie podría estar en contra de la idea de que lo que llamamos "mente" tiene un fundamento biológico, que es la condición material de posibilidad del conocimiento; es decir, que las capacidades cognoscitivas, racionales y/o mentales dependen de estructuras y funciones

biológico/materiales. Sin embargo, los epistemólogos evolutivos (Wuketits y Hull incluidos) con frecuencia no hacen distinción clara entre este fundamento biológico y los productos del intelecto, tales como las ideas, conceptos y proyectos, biologizando así por completo el proceso de desarrollo del conocimiento. Claro está de que existe también la posibilidad de que los autores consideren explícitamente que "capacidades biológicas" y la "producción de conocimiento" sean parte del mismo proceso.

Si bien Karl Popper ha insistido en que las estructuras biológicas del conocimiento no determinan el contenido específico de las ideas, él y un gran número de autores han "extendido" el efecto de la selección natural de las "capacidades cognoscitivas" a la "lucha entre las ideas en su confrontación con la realidad empírica".

Tercero: " Todos los fenómenos psíquicos en el mundo subhumano, así como las habilidades mentales propias de los sistemas humanos (auto-conciencia) se basan en estructuras y funciones biológicas; la evolución biológica ha sido la pre-condición de la evolución psicológica y espiritual".

Este tercer postulado es obviamente legítimo, sin embargo, con frecuencia se derivan de él dos aseveraciones que son, por lo menos, discutibles: el hecho de que la actividad mental humana puede ser comprendida exclusivamente mediante el estudio de su base neurobiológica, y el hecho -ya antes mencionado- de que la perspectiva evolutiva puede ser extendida a los productos de la mente -tales como la ciencia natural- bajo la amenaza de que, de no hacerse así, caeríamos en el dualismo cartesiano. A la primera

noción, de corte reduccionista, oponemos (con Wuketits) una perspectiva emergentista: la evolución es un proceso que al incrementar la complejidad -en este caso del sistema nervioso- produce sistemas cualitativamente novedosos, tales como los procesos mentales y psicológicos a partir de los meros fenómenos perceptivos. Además, la comprensión de la mente humana ha estado -y lo sigue estando- en manos de una gran cantidad de ramas del conocimiento, incluida la psicología, la antropología y etnología, la lingüística, la filosofía e incluso el arte, con muy escasa referencia a la neurobiología. Si bien es de esperarse en ese campo un desarrollo y complejización de sus teorías, seguramente éstas deberán complementarse con los de las otras áreas del conocimiento, y esto debido precisamente a la naturaleza polimorfa de los procesos mentales, con el objeto de lograr una comprensión necesaria y suficiente.

Cuarto: "El naturalista tiene que adoptar el postulado de la objetividad: la naturaleza es objetiva, ha existido antes e independientemente de un sujeto observador".

Este postulado de Wuketits es, más que objetivista, realista (Olivé, 1988), y expresado de esta manera ingenua de ninguna manera corresponde a la riqueza de la discusión suscitada en torno al realismo - y la objetividad- a causa de las revoluciones científicas de este siglo (especialmente la de la mecánica cuántica). Ahora bien, difícilmente a estas alturas un filósofo o científico podría sostener abiertamente lo contrario a este cuarto postulado, sin embargo en la epistemología evolutiva éste deriva de la problemática necesidad de hacer coincidir el orden de la naturaleza y el orden del pensamiento humano. El sistema

perceptivo del ser humano es adecuado - evolutivamente hablando- a ciertas regiones de la realidad circundante, especialmente al llamado "mesocosmos" (para diferenciarlo del microcosmos atómico y del macrocosmos astronómico) , con lo cual se forra una particular "visión del mundo" de la especie humana, muy distinta de la percibida por los sistemas de otras especies biológicas. Según algunos autores de la epistemología evolutiva las facultades perceptivas se originan en un programa genético que contiene los imperativos acerca de "cómo comportarse y sobrevivir" (Wuketits 1984-14, Ruse, 1987). Es decir, todo organismo está equipado genéticamente con un "sistema de hipótesis" acerca de la realidad, que es el "equipo inicial" o innato con el que un organismo cuenta para sobrevivir; según Wuketits esto hace a los organismos unos "realistas hipotéticos". De ahí que si el "sistema de hipótesis" no estuviera particularmente bien sintonizado o adaptado a la realidad circundante, el organismo no podría sobrevivir. La supervivencia de los organismos, pues, comprueba la objetividad de la realidad.

En la epistemología evolutiva, una vez más, nos vamos a encontrar con una mezcla de supuestos básicos, establecidos para la mayoría de la comunidad relevante, y de hipótesis no aceptadas por la mayoría. En el caso del argumento que conduce al postulado llamado por Wuketits "de la objetividad" (y que ya señalamos como "realista") se dá por obvia la existencia de una base genética de los comportamientos y las ideas. Ello, por más que entre los seleccionistas (incluidos en primer lugar los sociobiólogos) sea un hecho, de ninguna manera es algo verificado y, menos aún, explicado (Lewontin, Kamin y Rose. 1984). Si acaso se ha logrado una descripción estrictamente matemático-formal de

algunos aspectos generales del comportamiento sobre todo en el marco de la genética de poblaciones, auxiliándose de conceptos como la adecuación inclusiva, altruismo recíproco y otros. En realidad nuestra comprensión tanto de la estructura y función del sistema genético de los seres vivos, como de su sistema nervioso, se encuentra muy lejos de poder determinar la naturaleza de los procesos mediante los cuales la información contenida en los ácidos nucleicos podría traducirse en actos y disposiciones mentales complejas. No sólo es absurdo pensar, por ejemplo, en un "gen de la causalidad" (así como en un gen del "egoísmo" o de la "religiosidad"), sino que con los conocimientos actuales de la biología molecular es imposible pensar en ello: ésta solamente ha confirmado la complejidad y la plasticidad del genoma, no sólo demostrando que los genes codifican características moleculares sumamente específicas (una proteína estructural o un represor, por ejemplo), sino que incluso su acción depende de muchos otros elementos genéticos reguladores (tales como promotores y reguladores) y de la frecuente combinación de la acción de diferentes fragmentos genéticos (como el caso de los minigenes). De hecho, aún pensando en un origen obviamente poli-genético de las disposiciones cognoscitivas, la biología evolutiva carece de una teoría genético-matemática capaz siquiera de aproximarse a tan complejo problema. Así pues, el origen exclusivamente genético del comportamiento es, a pesar de todo lo argumentado a su favor, todavía un supuesto, que si bien facilita un acercamiento notorio a ciertos problemas de la biología evolutiva, de ninguna manera es suficiente para descartar otro tipo de explicaciones como, por ejemplo, una de tipo ontogenético que considere como fundamental la formación de

las interacciones neuronales durante el desarrollo.

5) Por último, el quinto postulado será desarrollado a lo largo del recuento histórico del presente trabajo, y dice:

"La epistemología evolutiva es una perspectiva interdisciplinaria para explicar y comprender las actividades epistémicas; está basada en investigación biológica y psicológica, y se corresponde con los resultados en los campos de la lingüística, la antropología, la etnología y la sociología".

Ahora bien, a pesar de considerar estos postulados como comunes a los distintos modelos de la epistemología evolutiva, ésta no es, como ya señalábamos, una noción homogénea y universal acerca del carácter y desarrollo del conocimiento. Una primera clasificación comprensiva podría ser la de Michael Bradie (1989), según la cual se pueden considerar dos grandes grupos de "epistemologías evolutivas":

a) Las que se refieren a la evolución de los mecanismos cognoscitivos (EEM), tales como los sistemas sensores y motores, la complejización del cerebro, las capacidades naturales que favorecen la adquisición de un lenguaje, etc. Es decir, la noción general de que a los aspectos o caracteres animales y humanos que son sustrato de la actividad cognoscitiva podemos encontrarles una explicación biológica-evolutiva análoga a la explicación que damos ante el resto de las estructuras-funciones de los seres vivos. Si bien este programa puede ser adoptado desde una perspectiva de tipo reduccionista (que más adelante definiremos con mayor exactitud), no necesariamente lo es:

existen otros enfoques de la biología que consideran una gran cantidad de fenómenos y causas interactuantes, así como diversos niveles de organización biológica que probablemente podrán explicar, en el futuro, el origen, evolución y flexibilidad de las estructuras nerviosas. Así pues, tendríamos dentro de este programa EEM dos enfoques lo suficientemente diferenciados: el reduccionista y el jerárquico. A lo largo de este trabajo haremos continua referencia a estas dos posturas e intentaremos afinar sus contenidos, ya que en nuestro caso no derivan del ámbito de la epistemología, sino que constituyen el núcleo de las discusiones de la biología contemporánea casi en cualquiera de sus ramas. A este programa epistemológico EEM pertenecerían los estudios etológicos de Konrad Lorenz (1977) y los escritos de Max Delbruck acerca de la mente (1986), así como una parte de las ideas de K. Popper (1972) y D. Campbell (1974).

b) El programa que se refiere a la evolución de las ideas, las teorías y la cultura en general (EET), mediante el uso de analogías, modelos y metáforas derivadas de la teoría de la selección natural. De acuerdo con Bradie a este segundo tipo pertenecería el modelo de Hull; este, por su parte, considera que la clasificación de Bradie es útil y que su modelo entra en ella como un tipo especial de EET [comunicación personal]. Sin embargo, nosotros creemos que el modelo de este autor pertenecería a un tercer tipo de metodología, debido a que su objetivo es la construcción de una teoría general de los procesos selectivos, que incluiría a los procesos de la evolución biológica y los de la evolución conceptual, así como a todos aquellos procesos que cumplan con un mínimo de requisitos -que más tarde señalaremos- que los califiquen como "selectivos".

Ahora bien, cabe destacar que tanto los programas del tipo EEM como los del tipo EET carecen, en general, de una diferencia clara entre desarrollo ontogenético y filogenético. Para el caso de los EET el desarrollo ontogenético se referiría al desarrollo de la capacidad de aprendizaje en el curso de la vida de un individuo, mientras que el desarrollo filogenético necesariamente implica lo que Hull llamará un "linaje", es decir, una población -de científicos, de conceptos, de teorías- que se desarrolla en el transcurso de las generaciones o "ciclos reproductivos", entendidos no como ciclos de vida biológicos, sino como parte de la "reproducción social".

Por otra parte, es importante destacar que los programas EEM y EET con frecuencia pueden fundirse bajo un mismo modelo cuando se lleva a cabo el equivoco antes señalado respecto a la falta de diferenciación entre capacidades cognoscitivas y productos o contenidos del pensamiento. Dicha delimitación debe ser cuidadosamente mantenida, ya que de no hacerlo así se corre el riesgo de afirmar cuestiones muy diferentes dentro de un mismo argumento, tal y como hace Wuketits (1984), quien afirma que "...debido a que la mente humana es un producto de la evolución [afirmación que podemos aceptar como parcialmente verificada]-y cualquier punto de vista opuesto, tal como el del dualismo clásico significa un tipo de oscurantismo- [con lo cual no coincidimos ya que existen otros puntos de vista como el de la simultaneidad de las determinaciones naturales y sociales] el enfoque evolutivo puede ser extendido a los productos de la mente, es decir, a actividades epistémicas tales como la ciencia [afirmándose precisamente lo que está en cuestión]".

Ahora bien, para Bradie, los argumentos en que se basa el

primer programa (EEM) son sostenibles, si bien hace la importante aclaración de que en biología el mecanismo de la selección natural no es el único que explica la evolución, de manera que un origen biológico de las capacidades cognitivas de ninguna manera es sinónimo de que hayan aparecido mediante la selección natural. Ahora bien, para efectos prácticos el EEM tiene muchas posibilidades de ser un programa "atinado" (Bradie, 1989), mientras que es el segundo programa (EET) el que está puesto en duda por varios autores (M. Bunge entre otros) no sólo en su validez sino, incluso, respecto a si es posible "tomarlo en serio" como teoría del desarrollo del conocimiento. Bradie (1989) sostendrá que, a pesar de estas dudas, los dos programas valen la pena de ser desarrollados, así sea por la exclusiva razón de su utilidad heurística, ya que se pueden atacar viejos problemas desde perspectivas nuevas.

Debido a que las epistemologías evolutivas no son, como decíamos, un grupo de modelos homogéneo relativo al proceso de adquisición y desarrollo del conocimiento, tampoco se puede afirmar que constituyan una forma universalmente aceptada de aproximación o descripción de estos procesos y, menos aún, que sea claro en qué aspectos y en qué sentido resuelven problemas esenciales de la epistemología tradicional y de la historia de la ciencia. En especial, el modelo propuesto por David Hull tendrá relevancia dentro de las discusiones actuales en torno a la naturaleza del conocimiento y del cambio conceptual debido a su integración de procesos racionales y fenómenos sociales, en un mecanismo que explicará la conformación contemporánea del trabajo científico.

Finalmente, en lo que respecta al presente trabajo nos referiremos con el término de "epistemología evolutiva" a aquella relativa al desarrollo de las teorías y conceptos (EET), así como a la parte del modelo de Hull en que se refiere a esta evolución conceptual en específico, si bien nos tendremos que referir también, forzosamente, a su teoría general de los procesos selectivos, sobre todo al momento de abordar, en el capítulo IV, sus relaciones con la biología contemporánea.

1.1.1 Breve recuento histórico

Utilizando la clasificación de Bradie de los programas de investigación de la epistemología evolutiva en un programa EEM (de los mecanismos cognoscitivos) y uno EET (de las teorías o productos del conocimiento), podemos afirmar que el primero cuenta con una larga historia que se remonta a Darwin. Si partimos de que la perspectiva evolucionista y, específicamente la darwinista, se funda en el presupuesto de que es posible explicar mediante causas naturales la presencia de cualquier estructura o función de los seres vivos, será evidente el vínculo fundamental que une a la concepción evolucionista con los diversos intentos por explicar específicamente el origen de las estructuras cognitivas del hombre.

Los estudios de Darwin en torno a la naturaleza humana hacen patente la necesidad que él veía de intensificar el trabajo

teórico y empírico en torno a la psicología evolutiva, mismo que él demostró en sus acercamientos de tipo evolutivo a características tan humanas como la autoconciencia, el lenguaje y la moralidad. Si bien el primero en formular tales puntos de vista en el siglo XIX fué Herbert Spencer, la noción darwiniana de que los animales "también pueden tener una vida mental, que la formación de ideas es un proceso corporal, y que este se encuentra sujeto a la selección natural..." (Darwin, 1871 citado por Wuketits, 1984) se encuentra avalada por una investigación empírica bastante más rigurosa que la de Spencer.

En este siglo los estudios de Piaget sobre "epistemología genética" (de 1920 a 1970), que en realidad tratan del desarrollo "ontogenético" del conocimiento, así como el desarrollo de la etología, muestran la importancia del desarrollo psicológico en el aprendizaje y la formación de conocimientos, aplicándose los principios evolucionistas a la psicología del desarrollo.

Así pues, tenemos un nivel estrictamente biológico del conocimiento al que se puede aplicar -al menos potencialmente- la teoría de la evolución darwiniana y sus modificaciones recientes, así como se aplica -no sin polémicas varias- a la explicación de cualquier otro fenómeno biológico; y un nivel psicológico en donde continúa existiendo un fuerte debate en torno a la naturaleza de los problemas y a la diferencia entre conductas innatas y adquiridas.

Para los fines de este trabajo, vamos a profundizar en el desarrollo histórico de los programas más conocidos de la epistemología evolucionista, intentando utilizar el concepto de relación analógica entre evolución biológica y evolución teórica llevados a cabo por Michael Ruse (1987).

La primera propuesta de una epistemología evolucionista en nuestro siglo -la cual cae dentro de los programas EEM y EET- es la de Donald Campbell (1974). Su propuesta consiste básicamente en un mecanismo de desarrollo de la ciencia a través de la "variabilidad ciega y la retención", análogos conceptuales de la mutación al azar y la selección natural que ocurren en los organismos. Este mecanismo es una extrapolación de los mecanismos vicariantes estudiados por Campbell en organismos como los protozoarios, en los cuales el método de "ensayo y error" es utilizado para "conocer" y adaptarse al medio (un ejemplo sería el movimiento fortuito que emprende un protozoo hasta encontrar alimento). Campbell, haciéndose eco de la crítica de Popper al inductivismo, sugiere que el punto de inicio del conocimiento lo constituye un problema dado, no un dato, al cual el organismo o el científico plantean una conjetura. Esta puede presentarse como un comportamiento directo (por ejemplo, el movimiento vicariante, en el que todo el protozoo entra en contacto con el medio), o como una hipótesis científica (que sería una conjetura mediada por el aparato perceptual y conceptual muy desarrollado de los seres humanos); esta conjetura será eliminada o retenida (seleccionada) de acuerdo a si corresponde o no a la realidad circundante. De esta manera se alude a la idea popperiana de una aproximación sucesiva y paulatina a la verdad, como una constante adaptación a la realidad empírica.

Cabe destacar que el aspecto problemático de la analogía de Campbell lo constituye la idea de "variabilidad ciega". Esta noción se encuentra relacionada con la idea de Popper de que el conocimiento no se justifica a través de la acumulación inductiva

de datos, y es indispensable para el trabajo de Campbell, Popper e incluso Hull, si la analogía entre ambos procesos se encuentra justificada. En efecto, esta "variabilidad ciega" quiere decir que las conjeturas o hipótesis -que no importa cómo surgen-, son contrastadas con la realidad, donde ocurre la selección (error o retención de las hipótesis). Según Ruse (1987) esta noción contradice el sentido común y los resultados de la historia de la ciencia, la cual demuestra que las propuestas que puede lanzar un científico no son fortuitas, sino que se limitan a unas cuantas posibilidades con el fin explícito -la voluntad o intención- de resolver el problema específico planteado por la realidad; acoplamiento dirigido que la teoría darwinista precisamente niega como parte de sus características más fundamentales. La respuesta que Campbell dará ante estos cuestionamientos es que antes de la propuesta teórica ha ocurrido un proceso mental de "pre-selección" de las hipótesis más adecuadas. Ruse (1987) le contraargumenta a Campbell diciendo que en el caso de la evolución biológica las variaciones ocurridas al azar se presentan directamente al proceso de selección del medio, sin una selección previa. y, además, que Campbell parece confundir lo desconocido con lo fortuito. Popper mismo elegirá ante este problema enfatizar el carácter completamente fortuito de la formación de hipótesis científicas negando su origen inductivo en la experiencia, y enfatizar el hecho de que las mutaciones biológicas tampoco son estrictamente fortuitas. Pero antes de pasar a la propuesta de Karl Popper es importante señalar que con Campbell la analogía que va de la biología evolutiva a la teoría del conocimiento se invierte, de modo que todos los procesos evolutivos, incluidos los específicamente biológicos, son

estudiados como procesos de conocimiento, procesos en los que - mediante la selección natural- se obtiene conocimiento, entendido éste desde sus manifestaciones mas elementales tales como la locomoción vicariante de una ameba o el desarrollo del sentido de la vista, hasta la elaboración de un sistema conceptual como el de la ciencia. Las adaptaciones biológicas no son, para Campbell, más que desarrollo en la capacidad de los organismos de conocer. Dice Campbell "... la evolución -aún en sus aspectos biológicos- es un proceso cognoscitivo, y... el paradigma de selección natural para tal incremento del conocimiento puede ser generalizado a otras actividades epistémicas, tales como el aprendizaje, el pensamiento y la ciencia".

Como ya decíamos, el trabajo de Karl Popper en la fundación de una epistemología evolucionista se lleva a cabo en estrecha relación con los desarrollos de D. Campbell, pudiendo afirmarse que coinciden en lo esencial.

Ahora bien, en su primera época, utilizando el criterio de demarcación, Popper afirmaba que la teoría darwinista de la evolución era en realidad un programa metafísico, no científico, ya que no era susceptible de refutación [3]. Según Popper ello no le restaba valor heurístico, ya que la teoría darwiniana de la selección natural abría la posibilidad de hacer preguntas y problematizaciones imposibles de realizarse antes de Darwin. Posteriormente, debido no solo al propio desarrollo del darwinismo, sino incluso a un afinamiento de su propia teoría de la falsación, Popper admitirá como científica a la teoría de Darwin; y es en esta misma etapa que reconocerá la analogía

existente entre el método de las conjeturas y refutaciones, y el proceso evolutivo de producción de variaciones y selección natural.

En efecto, Popper siempre afirmará que la pregunta que debe hacerse la teoría del conocimiento no es cómo surgen las ideas, hipótesis, conceptos o teorías en la mente del científico individual, ya que esta es una pregunta de tipo psicologista, que incluso puede tener una respuesta irracional y específica para cada caso particular ; no, lo que importa es como justificamos el conocimiento como propiamente científico, es decir, mediante qué proceso lo calificamos como científico una vez propuesto como posible respuesta a una pregunta previa. Ello lo lleva a considerar que el problema tradicional de la epistemología acerca de qué es el conocimiento, se ha transformado en el problema histórico de cómo se desarrolla la ciencia, cómo lo calificamos de científico sobre otras propuestas (que no interesan cómo surgieron) que no son científicas o que están más lejos de la verdad . Popper hace hincapié en que ciertas estructuras innatas de tipo biológico-psicológico se encuentran delimitando el tipo de preguntas y respuestas que nos hacemos, de manera que nuestra capacidad de conocimiento o nuestra mente no es una tabula rasa a la que se instruye mediante la observación. Sin embargo, la estructura mental no determina las conjeturas específicas que se proponen para la resolución de problemas, de manera que es solamente al justificar un conocimiento que podemos encontrar razonamientos y enunciar un método. La propuesta de conjeturas ocurre casi podríamos decir que por azar, no como producto de un proceso inductivo; mientras que la refutación o puesta a prueba de las conjeturas ocurre con base en la

confrontación empírica y lógica.

En el sistema de Popper, no sólo encontramos la analogía entre conjeturas-variabilidad y refutación-selección, sino una ontología que distingue "tres mundos" en la realidad: el mundo de los objetos, el de la conciencia y los estados mentales, y el de los productos objetivos de la conciencia (como las obras de arte, las teorías científicas, los libros, etc). Esta idea de los tres mundos independientes pero que, sin embargo, interactúan entre sí, da pie a la tesis de que el mundo 2 (la conciencia, la capacidad cognoscitiva), que apareció por selección natural, se prolongue o extienda para explicar el origen del mundo 3; este último es precisamente el único al que debe dedicarse la investigación epistemológica objetiva, olvidándose del mundo subjetivista o mundo 2 (Popper, 1972). Es decir, llegados a este punto observamos que en su teoría se superpone a los dos programas de la epistemología evolutiva (EEM y EET).

Es necesario puntualizar que con esta postura del "último Popper" se transplanta a la epistemología la noción común de la biología evolutiva surgida a finales de los años cuarentas y conocida como "Síntesis Evolutiva", respecto a que la evolución es producida únicamente por selección natural y que, por lo tanto, los mecanismos de tipo selectivo conceptual pueden ser los únicos necesarios para explicar el proceso de desarrollo científico. De manera que para la epistemología evolutiva, en general, hablar de "evolución de la ciencia" implica afirmar que el mecanismo por el cual la ciencia surge y se desarrolla es un mecanismo selectivo. Sin embargo, en la actualidad -a partir de los años setenta- se reconoce que en la evolución orgánica

intervienen otros mecanismos causales, tales como la deriva génica.

Dentro de los aspectos específicos del trabajo de Popper a este respecto cabría señalar: primero, su aceptación de que el "árbol" de la evolución biológica representa la diversidad biológica que se incrementa o ramifica, mientras que el "árbol" de la evolución del conocimiento se encuentra "invertido" y muestra numerosas convergencias debido a la unión de ramas disímbricas en teorías generales (Popper, 1972); y segundo, y más importante, su confirmación de que la analogía de ambos procesos evolutivos se debe a una identidad esencial. Para Popper lo que ocurre es la selección natural de las hipótesis:

"El aumento de nuestro conocimiento es el resultado de un proceso muy parecido a lo que Darwin llamó selección natural'; la selección natural de las hipótesis. Nuestro conocimiento, en un momento dado, consiste en el conjunto de aquellas hipótesis que han mostrado su eficacia (comparativa) al sobrevivir hasta ahora en su lucha por la existencia; una lucha competitiva que elimina aquellas hipótesis que no son adecuadas" (Popper, 1972). De esta manera, Popper confirmará su creencia en la existencia de un mundo independiente (realismo) y del progreso de la ciencia: las teorías conjeturales son teorías que "esperamos que sean verdaderas (o cercanas a la verdad), pero que no podemos establecer como ciertas o ni siquiera probables(...), y tienden a acercarse a la verdad de forma progresiva, esto es, a descripciones verdaderas de ciertos hechos, o aspectos de la realidad" (Popper. 1972).

Una segunda etapa histórica en el desarrollo de la epistemología evolucionista quedaría marcada por la obra de Stephen Toulmin, Human Understanding (1972). Este autor utiliza el concepto de "evolución racional" para referirse al proceso mediante el cual las disciplinas intelectuales son guiadas en su desarrollo principalmente por las organizaciones profesionales (academias, consejos editoriales, etc), de manera que su modelo de desarrollo científico considera tanto el aspecto meramente intelectual y "racional" de la ciencia como al "medio" -a veces altamente arbitrario e irracional- que selecciona los desarrollos teóricos. En este sentido, la propuesta de Toulmin es cercana a la de Hull: ambos persiguen un acercamiento evolutivo de las interrelaciones entre sociedad y desarrollo conceptual en la ciencia.

Creemos que en lo general podemos rastrear el interés de Toulmin (y de Hull incluso) por el aspecto "sociológico" y los elementos irracionales que conforman el conocimiento científico, a un gran interés generacional por los factores anexos al trabajo intelectual, una crítica a la noción de ciencia como actividad basada exclusivamente en la razón, el argumento y la evidencia, y una utilización de la historia de la ciencia como referencia empírica de la reflexión filosófica (generación de la cual T. S Kuhn sería el exponente mejor conocido).

Existen muchas diferencias entre la postura de Toulmin y la perspectiva de Campbell y Popper. La primera de ellas de nuevo se encuentra en la consideración de la variabilidad conceptual. Para Toulmin, a diferencia de la variabilidad biológica, la variabilidad conceptual tendrá un elemento intencional, ya que el

científico buscará explícitamente una respuesta adecuada a su problema; de este modo, Toulmin acepta que su modelo evolucionista no es en este sentido darwiniano, sino que se encuentra emparentado con una perspectiva lamarckiana de la evolución. Otro aspecto sumamente importante del trabajo de Toulmin será su enfoque poblacional (retomado por Hull), al cual considera realmente como la esencia del darwinismo. Toulmin considerará que la unidad conceptual a ser seleccionada no es algo rígido y sistemático como una teoría general, sino una "población de conceptos" presentes en diversas combinaciones en la "teoría" (entendida en sentido laxo) que adopte cada científico y cada escuela o grupo de investigación. Por ejemplo, los conceptos y combinaciones conceptuales de la mecánica cuántica que utiliza la física de partículas serán muy diferentes a los que usará la química inorgánica, y no existe nada rigurosamente definido y sistemático que podamos nombrar como "mecánica cuántica". Así pues, para Toulmin las teorías no existen como entes sólidos en los cuales se delimitan los significados de cada concepto, sino que propone como unidad de selección a entidades flexibles como los conceptos o grupos de ellos.

Ahora bien, Toulmin desea ampliar la analogía de la evolución desde el descubrimiento hasta la justificación del conocimiento: las ideas o conceptos son inventados -eso sí, intencionalmente- por los científicos e introducidos en el ámbito de la ciencia - en las revistas, los seminarios, los congresos, etc.- dispuestos a la lucha por su existencia. Los conceptos con éxito son más aptos, pero la aptitud no es una cantidad absoluta, ni siquiera una que mida la aproximación a la realidad objetiva, pues hay razones sociológicas y filosóficas que pueden contribuir a su

éxito. La disciplina intelectual se enfrentará a una entramada red de la organización profesional, representada por los miembros de los consejos editoriales, las academias y, en fin, por todos aquellos elementos que pueden ejercer su poder al determinar la suerte que correrá cada grupo de conceptos propuesto.

Consideramos importante destacar que este ambicioso programa de Toulmin resulta de la síntesis de una serie de problemas que se presentan a la historia y la filosofía de la ciencia, en particular la oposición entre un desarrollo de la ciencia en base a revoluciones (Kuhn, 1962) y una noción acumulativa de la ciencia; así como entre una visión relativista y otra esencialista de la misma. Para Toulmin, el enfoque evolucionista será el único que parece solucionar las contradicciones de esas perspectivas y la naturaleza multidimensional de la misma.

Después de la obra de Toulmin destacan, en la epistemología evolucionista, las obras de Robert Richards (1981), que considera a esta como un tipo de narrativa histórica en la que las re combinaciones de ideas generadas en un contexto conceptual de los individuos y las comunidades científicas se ven seleccionados de acuerdo a los problemas que el medio científico busca resolver; y, por supuesto, la exhaustiva obra de David Hull (1988) a la cual nos referiremos en los siguientes apartados.

Por último, una consideración de tipo general: ¿Qué es lo que ha hecho de la teoría de la selección natural de Darwin un objeto privilegiado no solo de estudio, sino de forma de comprensión en

esferas distintas a aquella para la que fué originalmente propuesta? Independientemente de los elementos específicos de cada una de estas "aplicaciones" de la selección natural a esferas diversas de la biológica (el conocimiento, la sociedad en su conjunto, la psicología del desarrollo, etc.), algunos de los cuales incluso son de tipo ideológico, una razón filosófica se encuentra en la originalidad de las explicaciones seleccionistas. Estas se inauguran en el siglo XIX como una forma nueva de explicación que recoge tanto la tradición de las explicaciones causales de la ciencia natural, como las explicaciones descriptivo-generales o históricas de la ciencia social. En efecto, la teoría de la selección natural incorpora por primera vez un mecanismo causal y una perspectiva probabilística propia de la ciencia del siglo XIX y XX, con una descripción contextualizada histórica, en la cual es requisito indispensable la conexión de los eventos y no solo su análisis [4].

Así pues, aún estando en desacuerdo con los diferentes modelos de la epistemología evolucionista, podemos reservarnos el derecho a acceder a este tipo de explicación científica-histórica para el caso del desarrollo del conocimiento sin tener que comprometernos con la idea de que se trata de "leyes universales" como las de la física clásica, ni de descripciones históricas generales, sino reconociendo que se trata de modelos explicativos alternativos que han probado su eficacia en otros campos.

1.2 El Desarrollo de la Ciencia de acuerdo al Modelo Seleccionista de David Hull.

Hemos señalado ya las características principales de la Epistemología Evolucionista, así como algunas de las posturas de sus principales exponentes frente a los problemas tradicionales del conocimiento o frente a las nuevas disyuntivas que se plantean desde su perspectiva.

Pasemos a reseñar, someramente, las principales características del modelo de D. Hull, señalando en lo que cabe su postura frente a tales problemas epistemológicos e historiográficos.

1.2.1 Características generales de la ciencia, la filosofía de la ciencia y la "ciencia de la ciencia"

Con la intención de resolver la dicotomía entre una versión exclusivamente racional y logicista de la ciencia (como la sostenida por los positivistas lógicos) y una versión historicista "anárquica" que vé en la ciencia otro más de los productos de la ideología y los intereses socioeconómicos, tan

poco confiable como la astrología o la magia, David Hull intenta construir una metodología, o un modo de reconstrucción (difícil de clasificar como epistemológica o historiográfica, más bien analítica) que capte la importancia relativa, en la ciencia, "de la razón, el argumento y la evidencia, por un lado, y el poder, el prestigio y la influencia por el otro" (Hull, 1988-xi). Para Hull, mucho de la ciencia se deja de lado cuando, de manera no realista, creemos poder reconstruir esta actividad a partir de criterios exclusivamente racionales, o cuando considerando los efectos nocivos de la ciencia sostenemos que lo mejor es negar todos sus logros.

La teoría general de los procesos selectivos (capaz de abarcar a la evolución biológica y a la evolución conceptual o sociocultural) es propuesta por Hull con el fin de captar la interrelación íntima entre estos factores racionales y los no racionales. Su manera de proceder en esta búsqueda es, explícitamente, no inductivista, e intenta plasmar todo el conjunto de influencias que sobre él se ejercieron al realizar su trabajo: objetivos profesionales, preferencias subjetivas, evidencias empíricas, etc., bajo la hipótesis de que lo que a él le influye en su trabajo debe también influir a los otros científicos (Hull, 1988,6), y una de las conclusiones más importantes del modelo de Hull es, de hecho, que las "relaciones profesionales entre los científicos influyen, por lo menos localmente, en el contenido de la ciencia" (p.xii).

La intención de Hull es metodológica y meta-metodológica, por usar palabras propias de la epistemología, si bien -como veremos- su propuesta no consiste en un conjunto de normas rígidas, sino en una determinación de la naturaleza de las relaciones entre

organización social de la ciencia y desarrollo conceptual de ésta. La cuestión metodológica está mejor expresada en la pregunta ¿cómo eligen los científicos entre teorías alternativas del mundo?, mientras que la cuestión meta-metodológica es expresada así: ¿cómo es que los que estudiamos a la ciencia elegimos entre puntos de vista alternativos acerca de la naturaleza de la ciencia? Nuestra perspectiva acerca de la ciencia se ha modificado en numerosas ocasiones, en cambio, se ha puntualizado muy poco -dice Hull- en torno a los factores que determinan nuestras propias decisiones meta-metodológicas, factores que seguramente son los mismos que los que influyen a los científicos naturales al hacer sus elecciones metodológicas. Lo anterior lleva a Hull a cuestionar la polémica entre internalistas y externalistas en torno a los factores determinantes del desarrollo de la ciencia; los primeros intentan una reconstrucción de la ciencia a partir de criterios racionales, considerados "internos" a la ciencia misma, mientras los segundos encuentran el peso mayor en factores sociales, económicos y culturales que pueden no tener una lógica o racionalidad, y que por eso son considerados "externos" a la ciencia; la discusión estriba, según Hull, en que los externalistas consideran a estos factores económicos, políticos, etc., como internos y propios de la ciencia.

En este sentido Hull intentará una comunión sui generis de ambos tipos de perspectiva, y su propuesta buscará demostrar la importancia "interna" de factores tradicionalmente considerados "externos", tales como las relaciones personales y el peso de las agrupaciones sociales de la ciencia, en el contenido concreto de la misma. "El sistema de cooperación y competencia, secretos y

apertura, recompensas y castigos que ha caracterizado a la ciencia desde sus orígenes es social e interno a la ciencia misma" (Hull, 1988-3). Esta perspectiva, según Hull, no es racionalista sino, en un sentido claro, naturalista, si por ello se entiende la noción de que "...las teorías son o no son aceptadas por medio de procesos naturales que incluyen tanto juicio individual como interacción social" (p.3 subr. mio). De esto se sigue el método arriba mencionado que Hull aplicará tanto en sus conclusiones acerca de la ciencia como a su propia reflexión sobre la misma.

Por lo anterior Hull aboga que, para realizar reconstrucciones históricas, debemos referirnos a los artículos, conferencias y trabajos originales de los científicos, y no a los libros de texto, ya que sólo ahí seremos capaces de rastrear estas influencias originales y diversas.

Ahora bien la naturaleza social de la ciencia guarda relevancia para comprender a la misma "objetividad científica", que no es una cualidad de los científicos individuales, sino de las comunidades científicas (p.4), y no por un cierto convencionalismo sino -como veremos al analizar los mecanismos de la evolución de la ciencia que Hull propone- porque será en la competencia entre grupos de investigación cuando se someterán a prueba las teorías e hipótesis (cuando así convenga a los intereses del competidor, debido a que sus propios resultados no coincidan, y no por un afán desinteresado de crítica como propuso Popper). Así pues, el científico individual rara vez refuta sus propias hipótesis; éstas, en cambio, serán probadas por el resto de la comunidad cuando no apoyen sus propias conclusiones. De esta manera, el modo como se encuentra socialmente organizada la

ciencia, se encargará de llevar a cabo, inintencionalmente, los objetivos y virtudes máspreciadas de la misma. Dice Hull: "La ciencia se encuentra de tal modo estructurada que los científicos deben, para proseguir su propia investigación, usar el trabajo de otros científicos. Entre mejores sean para evaluar el trabajo de otros cuando es relevante para su propia investigación, serán más exitosos. El mecanismo que se ha desarrollado en la ciencia y que es responsable de su impresionante éxito puede no ser del todo "racional", pero es efectivo, y tiene el mismo resultado que los partidarios de la ciencia como una empresa totalmente racional prefieren" (p.4).

Según Hull esta organización de la ciencia también explica por qué en la comunidad científica sea castigado con mayor severidad el robo -de información, de ideas...- que la falsedad de las hipótesis; esta última daña más a la ciencia como tal, pero no mina las relaciones normales que deben sostener los científicos entre sí; en cambio, si la ciencia fuera exclusivamente una empresa racional observaríamos lo contrario. Esta afirmación de Hull es una "predicción" que muy bien nos servirá -junto con otras- para poner a prueba a su modelo en la reconstrucción histórica de los orígenes de la biología molecular (capítulos II y III).

Las características no del todo racionales propuestas por Hull incluyen una gran plasticidad e incluso ambigüedad en el lenguaje de los científicos. Los filósofos de la ciencia tienden a criticar esa plasticidad conceptual; y lo mismo hacen los científicos -cuando la plasticidad actúa en contra de sus posturas personales, pues de otro modo, no les importa. Según Hull, desde la perspectiva del conocimiento "acabado" (sic) la

ambigüedad es un defecto, es criticable y debe de ser eliminada. En cambio, desde la perspectiva de la adquisición del conocimiento como proceso temporal llevado a cabo por seres humanos falibles, cuyas carreras tienen un límite temporal, es, por decir lo menos, un mal inevitable. En realidad, para Hull, no sólo no es un mal, sino que es un método poderoso de desarrollo y mejoramiento conceptual, y es uno de los análogos de la variabilidad genética en las poblaciones biológicas. Las palabras ambiguas tienen una función positiva: ganan tiempo mientras los científicos desarrollan sus posiciones. "La ciencia es una conversación con la naturaleza, pero es también una conversación con otros científicos" (p.7). No es hasta que los científicos publican sus puntos de vista y descubren las reacciones de otros científicos, que aprecian lo que realmente dijeron. Es imposible evitar los malos entendidos pero, además, con frecuencia los científicos no saben lo que querían decir hasta que descubren cómo es lo que los otros científicos han interpretado su propio trabajo. "Los científicos muestran gran facilidad para cambiar de significados en retrospectiva" (p. 9). La intención del comunicador no es lo que cuenta en la ciencia, lo que importa es lo que el receptor piensa que envió el comunicador, y he ahí la importancia de la estructura social de la comunidad científica, que en sus intercambios se aclara mutuamente los problemas y sus soluciones posibles.

De esta manera Hull nos expone sus concepciones más generales acerca de la organización de la ciencia y de la manera en que, al presenciar las actividades de cualquier comunidad científica, observamos que la defensa de algo tan vago -tan íntimo o tan general- como sus propios "intereses" el científico trabaja en

beneficio de la ciencia y el conocimiento.

Ahora bien, el objetivo de Hull es lograr un acercamiento empírico a las ciencias empíricas, es decir, hacer "ciencia de la ciencia", usando su método proyectivo, de manera que deduce que todas estas concepciones derivadas de su participación activa en el trabajo de los científicos (Hull asistió a reuniones, seminarios, congresos, al trabajo cotidiano y a consejos editoriales y él mismo es un evolucionista reconocido), deben aplicarse con la misma fuerza al trabajo de los que -como él- intentan comprender la ciencia. Por así decirlo, la metametodología de Hull partirá de la aplicación de su metodología o modelo historiográfico a los propios filósofos o historiadores. De modo que Hull mismo usará con gran plasticidad el lenguaje filosófico, y términos tan debatidos como el de "teoría" serán usados para significar teorías tan generales como la evolutiva, y tan particulares como ciertas hipótesis acerca de la descendencia filogenética. Asimismo, Hull reconoce la importancia de los datos empíricos en su propio quehacer filosófico e histórico y, mas aún, acepta que si todos los científicos tienen intereses de clase y particulares, también debe tenerlos él. El problema es, entonces, determinar la influencia de estos factores en su propia concepción científica. "Cuando estamos involucrados en un estudio empírico" -dice Hull- "todo tipo de factores que no están estrechamente conectados al objeto que investigamos son capaces de influir nuestros supuestos y concepciones, pero tenemos la capacidad de detenernos y vernos a nosotros mismos en relación a nuestros objetos de estudio.

(...). En cualquier caso, otros han sido capaces de "trascender", de algún modo, tales factores externos como los intereses de clase -Marx, por ejemplo. Semejante trascendencia no es fácil de obtener, pero si otros pueden, yo puedo. Un buen modo de trascender tales factores como los intereses de clase consiste en prestar atención a los datos empíricos" (p. 9) [5]. Hull no nos dice más acerca de esta trascendencia, en qué consiste o cómo se logra, pero se infiere que serán nuestras propias observaciones las que pueden quedar condicionadas por tales circunstancias.

Para concluir, Hull busca una radicalización del aspecto empírico de la epistemología evolutiva y afirma "...el principal problema con el trabajo pasado en epistemología evolutiva no es que sea evolutiva, sino que es epistemología. (...) Ni el contenido ni los métodos de la ciencia pueden ser "justificados" en el sentido en que generaciones de epistemólogos lo han intentado. La razón (...) es que no existe tal justificación" (p. 12-13) . Por ello, Hull no buscará resolver los problemas tradicionales de la epistemología, sino desarrollar un análisis general de los procesos de selección, que sea igualmente aplicable al desarrollo biológico, social o conceptual.

1.2.2 Los Procesos Generales de Selección

Como ya decíamos, la intención de Hull es, más que construir una epistemología o una historiografía, desarrollar una teoría general de los procesos selectivos que sirva tanto para un análisis de la evolución biológica (y una posible solución a sus debates más importantes, aunque este aspecto no lo desarrollaremos) como de la evolución sociocultural. El objetivo de Hull es observar cómo operan estos procesos selectivos y por qué sus productos tienen las características que tienen; su interés no reside en justificar estos procesos. Así pues, de lo que hablará Hull es de los efectos que ciertas prácticas de la comunidad científica tienen en el contenido y desarrollo de la ciencia.

La intención de abordar un análisis general de los procesos selectivos tiene "...eso sí, un mérito epistémico instrumental", si bien se corre el peligro de construir una teoría evolutiva tan general -ya que abarcará la evolución biológica, la social y la conceptual- que puede ser empíricamente vacío.

Si bien el cambio sociocultural es afectado por la herencia genética y la herencia cultural, Hull sólo considerará a esta última al referirse a la evolución conceptual, ya que el cambio en las frecuencias génicas no parece dar cuenta del cambio conceptual; asimismo, debido a la importancia que Hull le dá a la organización social de la ciencia, considerará a la estructura démica de ésta (es decir, la organización de los científicos individuales en grupos de investigación con perspectivas más o menos comunes y comunicación continua de resultados) como un factor esencial de su particular desarrollo.

Según Hull los procesos selectivos tienen varias características importantes en común. Una de ellas es que no garantizan la generación de organismos perfectamente adaptados o de afirmaciones verdaderas infalibles. Asimismo, el proceso evolutivo es usualmente caracterizado por dos eventos, mutación y selección, que originan un tercero, la evolución. En esta perspectiva los genes mutan, los organismos son seleccionados y las especies evolucionan. Algunos autores intentan reducir esta concepción y afirman que toda la evolución puede ser explicada en términos de genes (como cambios en las frecuencias génicas), otros, en cambio, incluyen otros niveles, como el ecológico o la especie, en el proceso evolutivo. De tal modo que en la actualidad existe un gran debate en torno al nivel jerárquico al que opera la selección. La estrategia de Hull es, en cambio, definir las características que deben tener las entidades a seleccionarse y entonces observar cuáles de los niveles jerárquicos (genes, organismos, grupos, especies, etc.) las cumplen, y de esta manera Hull enriquecerá tanto al estudio de la ciencia como al de la evolución biológica. La intención de Hull es, en gran medida, demostrar que el argumento de que la evolución biológica es demasiado simple como para apoyar la construcción de modelos de evolución conceptual, es falso.

Siguiendo a Lewontin (1970) Hull caracteriza a los procesos de selección con base en tres principios básicos:

1. Variación fenotípica (diferentes individuos de una población tienen diferentes morfologías, fisiologías y comportamientos).
2. Adecuación diferencial (diferentes fenotipos tienen diferentes tasas de sobrevivencia y reproducción en diferentes

ambientes).

3. La adecuación es heredable (existe una correlación entre padres e hijos en la contribución de cada uno en las generaciones futuras).

A estos tres principios básicos podríamos añadir un cuarto:

4. Herencia weissmanniana (no lamarckiana): no hay correlación entre las necesidades de un individuo y las variaciones que ocurren en su sistema genético.

Los principios de Lewontin no definen el nivel al que ocurre la selección, y la posición de Hull es -como dijimos- realizar un análisis general de los procesos selectivos que será posible solamente si los niveles jerárquicos tradicionales son ignorados y los niveles relevantes son definidos en términos del proceso mismo de selección .

De acuerdo con Hull, gran parte de la confusión en torno a la selección biológica es terminológica; por ello, un objetivo inevitable en la construcción de su teoría general es el de utilizar un lenguaje apropiado. En especial, el término "gene" ha sufrido definiciones sucesivas conforme fue desarrollado en la genética clásica o mendeliana y después fue transferido a la biología molecular. En esta rama de la ciencia el concepto de gene ha sido desarrollado a su máxima expresión en un sentido analítico: los biólogos moleculares han hablado de mutones, recones y cistrones, de intrones, exones y DNA basura. Sin embargo, con todo y lo importantes que son estos desarrollos, Hull afirma que el concepto de gene surgido de la biología molecular no es apropiado para la teoría evolutiva. Así, adopta la definición de G.C. Williams (1966) según la cual un gene -en

contexto evolutivo- es "cualquier información hereditaria para la cual existe una selección favorable o desfavorable igual a varias o muchas veces su tasa de cambio endógeno". Una consecuencia de esta definición es que los "genes neutrales" (aquellos que portan características ni favorables ni desfavorables ante la selección), no existen para la evolución. Hull cita algunas de las críticas que se le hacen a esta definición "funcional", a las que me sumo -especialmente en el capítulo IV-, ya que al definir de esta manera a las unidades de la herencia se está tomando ya una fuerte postura en torno a un mecanismo único (la selección) de la evolución. Para evitar confusiones terminológicas de este "gene evolutivo" con el gene, por ejemplo, de la biología molecular, Hull retoma los neologismos y el enfoque de Dawkins en El gen egoísta (1975), y sustituye el término de "gene evolutivo" de Williams por el de replicador. Las definiciones generales de Dawkins-Hull serán aplicables a todo proceso selectivo y son las siguientes:

-replicador: entidad que pasa con su estructura en gran parte intacta a través de replications sucesivas. Los replicadores biológicos por excelencia son los genes, los replicadores conceptuales o culturales son los memes.

-interactor: una entidad que interactúa como un todo cohesivo con su ambiente, de tal manera que esta interacción causa que la reproducción sea diferencial. Los organismos e incluso los genes pueden interactuar como interactores biológicos; pero la identidad de los interactores conceptuales no queda establecida claramente para Hull, siguiendo el método de que diversas entidades pueden cubrir los requisitos de esa categoría. Podría pensarse que los interactores "paradigmático" son los

científicos individuales, "portadores de las ideas", pero ello lo evita Hull para eludir el problema de la intencionalidad. En realidad ésta es la parte menos trabajada de su metodología -y si bien él se niega a ligarla a este problema de la intencionalidad, resulta difícil encontrar el papel que juegan los sujetos en su sistema (comunicación personal).

-selección: proceso en el que la extinción diferencial y la proliferación de interactores causa la perpetuación diferencial de los replicadores relevantes.

Los replicadores y los interactores son las entidades que funcionan en los procesos selectivos. Se requiere asimismo un término general para las entidades que resultan de replications sucesivas:

-linaje: entidad que persiste indefinidamente a través del tiempo ya sea en el mismo estado o en un estado alterado como resultado de la replicación. Los linajes biológicos típicos son las especies, mientras que en el caso de la ciencia los linajes son las escuelas o tradiciones científicas.

Con estas definiciones generales Hull buscará solucionar gran parte de la compleja polémica en torno a la selección natural y la evolución orgánica. Como ya mencionamos, el problema del nivel al que ocurre la selección es abordado eliminando las jerarquías tradicionales en las definiciones; los interactores biológicos privilegiados, por ejemplo, son los organismos, pero incluso las moléculas de DNA tienen "fenotipos" que interactúan con el medio celular, y hacia "arriba" en la jerarquía biológica posiblemente también las poblaciones y especies actúen en ocasiones como

interactores, si bien Hull cuestiona que estas últimas se puedan comportar como un "todo cohesivo en sentido estructural".

El análisis exhaustivo que realiza Hull en el capítulo 11 de su libro acerca del debate, dentro de la biología evolutiva, del problema de los niveles de selección, persigue a la vez dos objetivos que se fundamentan en su método general: 1) mostrar que aún los procesos selectivos biológicos son tan complejos, que la mencionada "simplicidad biológica" no es un argumento suficiente para descartar los mecanismos selectivos a nivel sociocultural, y 2) dejar abierto un lenguaje lo suficientemente plástico y general como para permitir redefiniciones, aplicaciones diversas, matices y puntualizaciones sucesivas, tanto en biología evolutiva como en su modelo historiográfico; de esta manera hace suya la metodología de las ciencias naturales y construye, en este sentido descriptivo una epistemología naturalizada.

Por último, Hull pasa a aplicar la discusión anterior al caso específico de la selección conceptual.

La similitud entre replicación genética y memética (el término utilizado por Dawkins para las unidades culturales es "memes") se vé aumentada porque aparentemente en ambas hablamos de "transmisión" de la información. Tanto el código genético como los lenguajes humanos, y tanto las instrucciones genéticas concretas, como los mensajes lingüísticos específicos, todos han sido construidos históricamente e, incluso, pueden ser usados para reconstruir esa historia. En cierto sentido, cualquier "registro" del pasado puede servir como información del pasado. Los mensajes incorporados en el material genético son sobre algo -los fenotipos de las estructuras que ayudan a construir, y en

gran medida son responsables de la estructura de estas estructuras.

Los memes o mensajes culturales (ideas, conceptos, teorías, métodos e incluso objetivos y estrategias de investigación) se transmiten por diferentes medios, que van desde la comunicación oral (un replicador bastante "imperfecto") hasta los artículos especializados y los libros de texto. Como vemos en la adopción de este lenguaje, y en la argumentación que a continuación se reseña, Hull está comprometido en llevar a cabo una relación de analogía íntima entre ambos; la cual se justificará mediante su teoría general de los procesos selectivos.

Ante las posibles críticas a la epistemología evolutiva y su modelo particular, Hull intentará además dar respuesta a las siete diferencias más citadas entre el cambio sociocultural y el biológico. Ellas son:

1) Que la evolución sociocultural ocurre mucho más rápidamente que la evolución biológica. A lo cual Hull responde que las unidades de tiempo relevantes para cada caso dependen de los ciclos de replicación de los genes o de los memes, es decir, del tiempo generacional. Cada vez que un científico transmite un conocimiento a otro (o a uno de sus estudiantes) se efectúa una replicación, y ése es el tiempo de una generación conceptual (igual que lo puede ser un semestre de clases).

2) Que las entidades seleccionadas en la evolución biológica son discretas o atomísticas (es decir, delimitables

espaciotemporalmente), mientras que las de la evolución sociocultural no. Hull introduce ante eso la noción de "gen evolutivo" que, aplicado al desarrollo de la ciencia, implica que cualquier unidad conceptual o cultural para la cual hay selección favorable o desfavorable cuenta como una sola unidad. No existen, como lo hubieran querido los positivistas lógicos, enunciados atómicos, ni hechos atómicos, ni correspondencia uno-a-uno entre ambos. El "tamaño" de un replicador conceptual se encuentra determinado por el proceso selectivo en el cual se encuentra funcionando (p. 443).

3) Que la evolución biológica es siempre bi-parental, mientras que la sociocultural no. A esta objeción Hull responde que la teoría evolutiva de ningún modo depende de las teorías genéticas de tipo mendeliano. Es obvio que más de dos variantes conceptuales ("alelos conceptuales") pueden coexistir en el mismo pool conceptual, pero no hay nada en la evolución biológica que implique lo contrario. Así como los genes se encuentran organizados en sistemas funcionales más inclusivos (genomas), las ideas se organizan en sistemas inferenciales inclusivos (teorías). Las diferentes versiones de una misma teoría son "diferentes" por que en uno o más "loci conceptuales", existen diferentes variantes conceptuales (p. 445).

4) Que la "hibridación" es más frecuente en la evolución sociocultural que en la biológica. A esta idea de que los conceptos de un programa de investigación son frecuentemente usados por los miembros de otro programa, Hull opone el hecho de que esta hibridación frecuente también ocurre entre los

organismos. Los genes de una especie son integrados a otra cercana mediante la intervención de ciertos virus, además de que hay una gran cantidad de intercambio genético especialmente en las plantas. En realidad la impresión de Hull es que la hibridación o síntesis conceptual es menos común y abarcante de lo que parece (por ejemplo, en la Síntesis Neodarwiniana los evolucionistas sólo utilizan algunos conceptos e ideas de la genética clásica, no la incorporan toda), mientras que la hibridación biológica es más común de lo que parece (p. 451).

5) Que la evolución sociocultural es lamarckiana, mientras que la biológica es darwiniana-weissmaniana. Hull responde que para que la evolución conceptual fuera lamarckiana en sentido estricto las ideas que se adquieren al interaccionar con el medio ambiente deberían quedar integradas al genoma del científico, lo cual obviamente no ocurre (p. 454).

En lo particular cabe señalar que sólo en este momento de su argumentación Hull se opone incluso a una perspectiva metafórica que iguale a las "ideas" y a los "genes"; por el contrario, en el resto de sus argumentos observamos cómo intenta llevar a cabo hasta sus últimas consecuencias la relación analógica. Esta objeción excepcional para llevar a cabo la analogía, de nuevo coincide en el aspecto reconocido por primera vez por Toulmin - y que Hull tratará como punto número 7- respecto al elemento intencional o conciente en la evolución del conocimiento.

6) Que la evolución conceptual, al menos en ciertas áreas de la ciencia, es progresiva, mientras que la evolución biológica no lo es. La discusión en torno al progreso conceptual y biológico

es complejo: abarca desde la delimitación de los criterios para delimitar lo que es progreso, hasta la discusión acerca de las entidades que los cumplen. Para Hull no es claro que haya progreso, ni biológico, ni conceptual, y ni siquiera es claro cómo podría definirse esta noción de manera realista.

7) Por último, que la evolución sociocultural es, "hasta cierto punto" intencional, mientras que la biológica no.

Para David Hull -como ya mencionamos- el problema de la contraposición intención/sociedad contra no-intención/naturaleza no constituye obstáculo alguno para los modelos evolutivos del desarrollo científico. Hull admite que la naturaleza actúa sin intencionalidad, pero la idea de que el telos o intención es una característica específica del hombre es errónea, ya que ésta no siempre interviene en los actos humanos e, incluso, cuando está presente produce con frecuencia efectos inesperados para el ser humano. Así pues, los límites entre la intención humana y la no intención natural son vagos, y es una de las razones por las que no se percibe la especificidad de cada uno de los procesos analogados. Hull nos pone el ejemplo -tan controvertido por los historiadores de Darwin - de la "selección artificial" desarrollada por los criadores y domesticadores en sus organismos, y utilizada por Darwin como argumento en favor de la selección natural. ¿ La selección artificial es intencional porque interviene el hombre? ¿O es natural/inintencional porque la variabilidad de los organismos es independiente de la voluntad y deseos del criador? Según Hull la delimitación no es necesaria y el ejemplo muestra lo carente de sentido de la pregunta, así como la extrema importancia que se le ha dado al telos como

característica propiamente humana .

Nosotros sostenemos, por el contrario, que esta pregunta no resuelta es un problema sumamente importante de la perspectiva de Hull : la disolución de los límites entre naturaleza y sociedad, que impide destacar los elementos propios de cada una. En lo que sigue veremos cómo esta "frontera" se ha perdido ya por completo en el modelo de Hull mediante la aplicación de los conceptos de adecuación inclusiva y competencia interdémica a la explicación del comportamiento de los científicos y de la praxis científica en cuanto tal. Asimismo, no opondremos a la visión de Hull una supuesta "intencionalidad individual", semejante al "libre albedrío", sino la noción de una intencionalidad social e históricamente delimitada que puede pertenecer tanto a los individuos como a las colectividades.

1.2.3 Adecuación inclusiva conceptual y competencia interdémica

En el apartado anterior intentamos resumir el desarrollo exhaustivo de la analogía biológica y sociocultural emprendido por Hull en su libro Science as a Process (1988, The University of Chicago Press) . Sin embargo, aún no exponemos las características específicas de su análisis evolutivo del cambio

conceptual, las cuales derivan de su noción de adecuación inclusiva conceptual y de la importancia central que concede a la competencia interdémica. Hull comienza por exponer el "importante papel jugado" por el concepto de adecuación inclusiva (Hamilton, 1964) y el mecanismo relacionado de altruismo recíproco (Trivers, 1971) en la biología evolutiva del comportamiento.

El mismo concepto de adecuación inclusiva tiene una historia peculiar, ya que surge del intento de explicar en términos darwinianos el aparentemente contradictorio comportamiento animal conocido como "altruismo". De acuerdo a la versión tradicional de la evolución orgánica, la selección natural es oportunista -se ejerce sobre las variaciones existentes- y opera sobre los individuos concretos, no por "el bien de la especie" o alguna otra unidad supraindividual. Así pues, uno podría esperar -en el contexto de la teoría neodarwiniana- precisamente lo que se ha considerado como la marca de esta versión de la evolución, es decir, que cada individuo luche por su sobrevivencia y por transmitir el mayor número de sus genes a la siguiente generación, mediante el "éxito reproductivo" que se mide con el concepto de adecuación. Sin embargo, es una observación común el hecho de que en numerosas especies animales ocurren actos de altruismo a nivel familiar o de grupos que contradicen esta versión individualista de la evolución. Evidentemente la selección natural no puede retener un comportamiento "suicida", que ponga en juego la capacidad de sobrevivencia y reproducción del organismo que lo ejecuta.

La organización de muchas especies animales en círculos concéntricos que protegen al macho central, las hembras y las crías respecto de otros grupos y de los predadores pareciera

significar que semejante conducta en los machos jóvenes es producto de una selección a nivel de grupo (explicación alternativa y, a la fecha, no desechada, a pesar de ser minoritaria), no de los individuos -que con mucha mayor probabilidad serán sacrificados.

El concepto de adecuación inclusiva encuentra aquí su función: básicamente consiste en la idea de que tales comportamientos "altruistas" pueden ser seleccionados porque organismos íntimamente relacionados contienen duplicados de genes iguales, y por ello se espera que se den grados variables de cooperación entre los organismos relacionados genéticamente. Los organismos que tienen un número pequeño de crías cuidan más de ellas, y será a este tipo de especies al que mejor se aplique el concepto; este comportamiento que fenotípicamente es altruista, a nivel genotípico es egoísta.

Lo mismo ocurrirá con el desarrollo conceptual según Hull. La ciencia es fenotípicamente cooperativa, (los científicos necesitan de los resultados de los otros, y prácticamente nunca se "olvidan" de citar sus fuentes, y eso a pesar de que el valor máspreciado es el de la "originalidad"), pero a la base de ese comportamiento la explicación es también de tipo egoísta. Lo que buscará cotidianamente cada investigador será aumentar su "adecuación inclusiva conceptual", es decir, dejar plasmados en un mayor número de replicadores sus propios puntos de vista, sea en la forma de artículos o textos publicados, de alumnos que coinciden con sus puntos de vista, o -la forma más importante- en referencias positivas que los otros científicos hagan de su trabajo. La forma de crédito que importa en la ciencia es el que

ocurre cuando un científico utiliza el trabajo de otro, en particular la incorporación de su trabajo en su propia investigación, preferiblemente con una cita explícita. Incrementar la adecuación inclusiva conceptual significa incrementar el número de replicadores de las contribuciones de uno en el trabajo de generaciones sucesivas de otros científicos.

Así pues, la mejor manera de obtener una mayor adecuación inclusiva conceptual, según Hull, ocurre mediante la organización de los interactores -científicos en grupos de investigación que pueden defender, difundir y, por tanto, competir, en el camino del progreso científico. También es de destacarse que los científicos reunidos en grupo son más productivos. Citemos ampliamente a Hull:

" ¿Qué es lo que funciona como replicadores en la ciencia?: los elementos del contenido sustantivo de la ciencia -creencias acerca de los objetivos de la ciencia, formas apropiadas de llevar a cabo esos objetivos, problemas y sus posibles soluciones, modos de representación, datos acumulados, etc. (...) Estas son las entidades que son transmitidas en las secuencias de replicación..." (P. 434). Ahora bien, "los replicadores conceptuales (algo similar al mundo 3 de Popper) no pueden interaccionar directamente con la porción del mundo a la cual se refieren. En lugar de eso, interaccionan indirectamente a través de los científicos del modo en que, de acuerdo a la sociobiología, los genes producen organismos para replicarse e interaccionar, y estos replicadores sí influyen en la manera cómo se comportan sus interactores. Los científicos son quienes notan los problemas, piensan posibles soluciones e intentan

verificarlas. Ellos son los interactores primarios en el desarrollo conceptual de la ciencia" (p. 434).

Así pues, Hull se acuerda por primera vez de los científicos! Sin embargo, al hacerlo parece por lo menos contradecir su apreciación anterior respecto a que los interactores primarios no son los científicos. Sin embargo, surge la pregunta de que, entonces, ¿quiénes lo serían?. Y no casualmente le sucede lo mismo que a la sociobiología, de la cual ha querido siempre distanciarse: ha puesto a las unidades de transmisión cultural como los sujetos del desarrollo conceptual que usan a los científicos como meros vehículos; de manera idéntica a la que los sociobiólogos explican la transmisión de los genes egoístas usando a sus recipientes (los organismos vivos) como meros robots. Asimismo debe notarse que, a pesar de haber diferenciado el concepto de "interactores" del de "vehículos" -propio de la sociobiología- aquí los usa indistintamente. Tampoco es casual, como intentaremos desarrollar en el capítulo IV, y como hemos señalado una y otra vez, que el problema de la analogía en este caso se vuelve a situar en el problema de la no consideración de una voluntad, intención o conciencia en el sujeto productor del conocimiento, el científico -social e históricamente delimitado. Como ya señalamos, el propio Hull tiene que reconocer que esta parte de su trabajo se encuentra inconclusa, y se niega a reconocer que sea un problema relacionado con la intencionalidad.

Pero continuemos citando a Hull:

" Los científicos aprenden de su experiencia, pero ellos no confrontan el mundo de su experiencia como individuos aislados. Si lo hicieran, la ciencia nunca se podría haber desarrollado.

Los científicos deben usar las ideas de otros, transmitirlos y mejorarlos. En el espacio de una sola vida, un científico sostiene una serie completa de ideas diferentes en diferentes combinaciones. La lucha consiste en encontrar la justa combinación correcta para producir una explicación comprensiva y coherente de los fenómenos naturales [...] la mayoría del progreso científico ocurre mediante recombinación" (subr. mio, p.434). Como podemos observar, básicamente el modelo de Hull implica una reconstrucción gradualista del desarrollo de la ciencia, y si bien en su discusión en torno al "tiempo y modo" de la evolución orgánica se refiere a las formas "saltacionistas" de la evolución, en realidad su reconstrucción histórica de la sistemática parece principalmente gradualista, tratando a los "saltos conceptuales" como casos especiales.

En la cita anterior también se destaca el hecho de que los científicos forzosamente necesitan de los otros, así sea exclusivamente porque el proceso de formación de ideas es un proceso colectivo (en el sentido de que confluyen varios investigadores contemporáneos y en el sentido histórico, de que el conocimiento se funda sobre lo desarrollado por generaciones anteriores). Ahora bien, los intereses intelectuales y las "recombinaciones" de ideas específicas de cada científico raramente coinciden con las de otro, por lo que en la competencia por crédito (que es la "moneda" de intercambio de la comunidad científica) dos versiones teóricas que se refieran a un mismo aspecto de la naturaleza contarán como diferentes si se presentan en linajes conceptuales diferentes.

Sin embargo, Hull reconoce que los científicos no sólo tienen

intereses intelectuales, sino que precisamente se unen a una colectividad determinada para maximizar otro tipo de intereses: "[los científicos] pertenecen a grupos científicos, sociedades y departamentos académicos. También son miembros de familias, grupos políticos, clases sociales, razas, etc." (p.434). Pero si los externalistas han argumentado que estos intereses extracientíficos son los determinantes en la construcción del conocimiento, y los internalistas han enfatizado el peso de la razón, el argumento y la evidencia, Hull propone, alternativamente, que la ciencia, como un proceso social es significativamente delimitada tan sólo por algunos aspectos extracientíficos, y en especial aquellos más cercanos a la ciencia misma, tales como la estructura démica u organización en grupos de la comunidad científica; otras instancias sociales, como podrían serlo los partidos o ideologías políticas prácticamente no ejercen ningún tipo de influencia objetivamente verificable en el cambio conceptual. Como si dijéramos que Hull busca una "fórmula de compromiso con ambas perspectivas historiográficas; aspecto que habremos de retomar en los capítulos II y III al señalar las dificultades del establecimiento de una frontera entre los aspectos sociales relevantes a la ciencia y aquellos que no lo són.

En especial el factor "extracientífico" que, de acuerdo con Hull, guarda mayor relevancia para el progreso de la ciencia es el parentesco conceptual (conceptual kinship), es decir, el hecho de que hay grupos de científicos que comparten ideas idénticas por descendencia. Así pues, parte de la cooperación que se da entre los científicos ocurre debido a un mecanismo similar al de la selección familiar (kin selection) en los organismos. Y, por

otro lado, la verificación empírica más rigurosa de las ideas de un grupo científico (sea pequeño, como una "familia" o grande como un "demo" o una "escuela") ocurre, como ya mencionamos, mediante la contrastación competitiva que efectúan los miembros de otro grupo. Así, la objetividad -colectiva- de la ciencia queda asegurada.

Al igual que en la teoría sociobiológica, el concepto de adecuación inclusiva explica -de manera un tanto ad hoc- tanto la cooperación, como su contrario, la competencia.

"En suma", dice Hull, "la replicación conceptual es un asunto de ideas que dan lugar a ideas por medio de vehículos físicos, algunos de los cuales funcionan también como interactores" y el papel principal de estos interactores científicos es la verificación empírica de las ideas que, obviamente, no pueden llevar a cabo solas esta operación. Debemos señalar que la construcción de ideas queda un tanto fuera de la discusión, en parte por el carácter personal y psicológico del proceso, y en parte porque -creemos- implica la acción consciente y dirigida de los interactores-científicos, no quedando explicada por una dinámica autónoma de los replicadores-ideas. Y de nuevo, diríamos nosotros, nos encontramos con la ausencia de una definición acerca del papel jugado por los científicos y una analogía estrecha en el modelo de Hull entre el proceso de cambio conceptual y la teoría de la evolución sostenida por la sociobiología, en cuanto a la autonomía de las ideas (genes) con respecto a sus "portadores" los científicos (organismos).

La argumentación de Hull queda sellada por una "demostración

empírico-¹ "stórica" de la taxonomía y por la aseveración de que cualquier sistema organizativo de la ciencia que pretenda desarrollarse en esta deberá atender a esta descripción [5]. La contraargumentación a su modelo será presentada en los próximos dos capítulos de modo empírico, y de modo teórico en el último capítulo.

NOTAS AL CAPITULO I

[1] Polemicamente Kuhn afirma en La estructura de las Revoluciones Científicas que el desarrollo de las revoluciones en la ciencia lo "...constituye, dentro de la comunidad científica, la selección, a través de la pugna, del mejor camino para la práctica de la ciencia futura. El resultado neto de una secuencia de tales selecciones revolucionarias, separado por periodos de investigación normal, es el conjunto de documentos, maravillosamente adaptado, que denominamos conocimiento científico moderno. Las etapas sucesivas en ese proceso de desarrollo se caracterizan por un aumento en la articulación y la especialización. Y todo el proceso pudo tener lugar, como suponemos actualmente que ocurrió la evolución biológica, sin el beneficio de una meta establecida, de una verdad científica fija y permanente, de la que cada etapa del desarrollo de los conocimientos científicos fuera un mejor ejemplo". De manera que para Kuhn la analogía es útil para describir el progreso innegable de la ciencia en términos no teleológicos, y sin aludir al mecanismo popperiano de aproximación sucesiva y paulatina a la verdad.

[2] Creemos que esta oposición tajante en el plano abstracto de la filosofía ha sido superado incluso por la filosofía anglosajona, si bien nos hemos permitido generalizar con el fin de aclarar la exposición. La evidencia histórica y la práctica demuestran la relación constante entre las inferencias inductivas

y deductivos. Por otra parte, la filosofía alemana (Hegel y Marx especialmente) ha intentado reunir ambas formas de pensamiento.

[3] El criterio de demarcación de Popper buscaba delimitar con precisión a la ciencia de la metafísica. Según Popper son científicos los enunciados que pueden ser falseados o refutados mediante la contrastación con enunciados de tipo observacional.

[4] Estas ideas han sido expuestas por el Dr. Sergio Martínez M. en las reuniones del Seminario de Epistemología Evolutiva en el Instituto de Investigaciones Filosóficas. Asimismo, coinciden parcialmente con la búsqueda actual, en las ciencias sociales, de una nueva "narrativa histórica" (Cfr. Lawrence Stone, 1981-1986)

[5] La "demostración empírica" que efectúa Hull de su modelo al narrar la historia de la taxonomía de este siglo tan solo demuestra, precisamente, los límites de un empirismo acrítico. De hecho, su modelo no puede ser -en sentido estricto- un modelo historiográfico, ya que lo efectuado por Hull es más bien un análisis localista y presentista del moderno sistema científico norteamericano. A la pregunta de cómo explicar otros sistemas científicos Hull replica que no es ese el objetivo de su trabajo pero que, de cualquier manera, todo sistema científico, incluido el de los griegos (sic), hubiera tenido mayor éxito de haberse organizado en la manera que su modelo expresa las características actuales de la ciencia.

Con respecto al carácter ahistórico y pretendidamente anticlasista del modelo de Hull nos referiremos en los capítulos III y IV.

CAPITULO II LA DETERMINACION DE LOS PROBLEMAS DE LA GENETICA
MOLECULAR.

La reconstrucción histórica de los orígenes de la Biología Molecular se encuentra ampliamente documentada, tanto por historiadores de la ciencia (Olby, 1974; Judson, 1984; Kay, 1985, 1986; Lipson y Fisher, 1988; Abir-Am 1982a,b,c, 1991; etc.), como por relatos (autobiográficos o generales) escritos por los mismos protagonistas de los eventos que a continuación se reseñan (Stent, 1966, 1968; Watson, 1968; Luria, 1988; etc.). De manera que surge la cuestión de por qué llevar a cabo "una reconstrucción histórica más"; la respuesta es doble: primero porque una de las tareas de la historia es el análisis crítico de los datos y la interpretación que otros autores han realizado de los mismos acontecimientos, y segundo, porque creemos que la única referencia empírica de la que puede echar mano el filósofo de la ciencia -independientemente de la cuestión acerca de la validez de esos datos empíricos- es precisamente la recopilación y reconstrucción histórica que otros han llevado a cabo. En nuestro caso particular esta reconstrucción de los orígenes de la biología molecular intentará documentar las siguientes hipótesis, no hechas explícitas por anteriores reconstrucciones o específicamente negadas:

1) El hecho de que la Biología Molecular, en sus orígenes, no es una "rama" moderna de la Biología. En efecto, la Biología

Molecular se produce como un area de investigación independiente de las ramas de la biología tradicional; al inicio es una "biología sin biólogos", a los cuales se recurrirá aisladamente para ciertas cuestiones metodológicas y de referencia (genética, taxonómica...).

2) El papel jugado por las fundaciones filantrópicas en la puesta en escena de condiciones generales para la realización de este tipo de investigación científica. En particular, la organización de las relaciones entre físicos y biólogos, otorgando la primacia a los primeros [1].

3) La influencia directa de los conceptos y teorías de la mecánica cuántica -o derivados de ella- en la llamada escuela estructural, aspecto poco destacado por la aparente relación exclusiva de los miembros del Grupo del Fago a esa rama de la física.

4) Utilizando el análisis y caracterización de los distintos tipos de reduccionismo de Sarkar (1989, 1991) intentaremos demostrar que lo que diferencia al Grupo del Fago de la Escuela Estructural es su estrategia de investigación, no la forma de sus teorías ni de sus explicaciones.

5) En el capítulo III enfatizaremos la gran cantidad de elementos empíricos y teóricos contenidos en el modelo del DNA - otorgando especial importancia al trabajo de Rosalind Franklyn, no solo como mera "confirmación" de dicho modelo, sino como fuentes esenciales- aspecto oscurecido del trabajo de Watson y Crick precisamente por el tipo de relato histórico que el mismo Watson hace de los acontecimientos en su conocido libro La Doble Hélice (1968).

6) Asumiremos el relato de los orígenes de la Biología

Molecular hasta el desarrollo del modelo del DNA como un relato, en cierto modo parcial. Ello se encuentra relacionado con la historia "exitosa" del desarrollo de esta disciplina, que nos hace interpretarla -en el presente- como si hubiera sido la "historia única que condujo al trabajo de Watson y Crick". A pesar de que esta historia "unilineal" es, en cierto modo, un mito (Abir-Am, 1982b), alimentado por los mismos protagonistas, creemos que aporta los suficientes elementos como para llevar a cabo una contrastación historiográfica.

7) Por último, la reconstrucción histórica que sigue servirá como referente en la contrastación del modelo evolucionista de David Hull para el desarrollo de la ciencia. Para ello asumiremos -con una relativa confianza- que los datos proporcionados por diversos historiadores son lo suficientemente objetivos como para permitirnos, al menos provisionalmente, llevar a cabo esta labor.

Veamos ahora, pues, de qué manera el modelo historiográfico-epistemológico de David Hull puede ser contrastado con las etapas comunmente reconocidas en el desenvolvimiento de la Biología Molecular. Necesariamente, la reconstrucción histórica de los orígenes deberá remontarse a los antecedentes (años 30's y 40's) de este nuevo programa de investigación los cuales incluyen, de manera relevante, el fenómeno conocido como "migración de los físicos a la biología", el papel jugado por las fundaciones filantrópicas en su apoyo a las ciencias naturales y la formación de grupos de investigación o "escuelas" con enfoques y organización bien definidos. Estos fenómenos no serán considerados como explicativos (al modo causal) del surgimiento y

contenidos de la biología molecular, sino a modo de condicionantes generales de su desarrollo.

2.1 La Influencia de los Fisicos.

A lo largo del siglo XIX se conjuntaron las condiciones sociales, técnicas y culturales para que la biología, ya como ciencia bien definida a partir de la teoría de la evolución, la teoría celular y la teoría de la homeostasis, se desarrollara de manera impresionante y se dividiera en una serie de ramas especializadas. La forma, las funciones y las transformaciones de los seres vivos constituyeron la triple preocupación de estos biólogos (Coleman, 1982), y sus investigaciones conformaron, en germen, lo que sería la biología moderna. La historia natural descriptiva y la fisiología (principalmente mecanicista) se transformaron en su patrón del siglo XX: la biología experimental y analíticamente rigurosa, al menos en gran parte de sus subdisciplinas. Dicha transformación ocurrió, por una parte, debido a la influencia de los adelantos en las ciencias físicas y químicas en algunas de las ramas tradicionales de la biología como la fisiología y la bioquímica, y por otra, debido a la investigación directa que científicos de estas ramas comenzaron a realizar dentro de la biología en formas nuevas de la investigación. Hasta antes de este proceso, esta se encontraba muy por debajo de los criterios de científicidad empírica y cuantificación rigurosa imperantes en la física moderna, por lo

que los biólogos acudieron en varias ocasiones (1880, 1920...) a la búsqueda de modelos experimentales físicos y químicos bajo los cuales desarrollar sus investigaciones (Allen, 1983).

Ahora bien, hacia los años 30's se gestaba una nueva etapa en la investigación biológica fisicalista que habría de conducir al origen y desarrollo de la biología molecular. El objetivo del presente capítulo es, por ello, considerar el papel preponderante no solo de los conceptos y técnicas de la física en uno de los eventos principales de la historia de la biología molecular (la determinación de la estructura del DNA), sino también del modo de pensamiento físico, en este caso hipotético deductivo y altamente abstractificante de la complejidad empírica. Ello no implicará que el desarrollo de la biología molecular se haya llevado a cabo exclusivamente debido a la influencia de la física en sus conceptos, metodologías, diseños experimentales y estrategias de investigación pues, como veremos, la biología molecular también ha conservado su nexo con la biología integracionista mediante explicaciones funcionales -de tipo evolutivo- (Sarkar, S. 1990) distintas de las explicaciones de tipo causal-probabilístico de la física y, sobre todo, por medio de algunas estrategias de investigación altamente originales y anti-reduccionistas.

2.1.1 Migración hacia la Biología.

Tanto la gran migración de intelectuales del continente

europeo hacia Estados Unidos e Inglaterra en los años treinta y cuarenta, como el viraje de muchos físicos teóricos hacia la biología sobre todo después de la II Guerra Mundial, constituyeron el enorme material humano que transformó radicalmente los problemas y el tipo de soluciones de una parte importante de la biología.

Se ha hablado mucho en torno a las causas de esta migración de dos componentes: uno intelectual y otro geográfico. Las causas, como el fenómeno, son polimorfas y prácticamente específicas de cada caso particular, sin embargo a continuación enumeramos aquellas que son frecuentemente invocadas en la descripción histórica-coyuntural de la ciencia entre los años 30's y los 40's.

a) En primer lugar, dentro de las llamadas causas "internas" al desarrollo de la ciencia, estaría el enorme desenvolvimiento teórico-conceptual de la física de principios del siglo XX, ya que la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica consiguieron un desarrollo pasmoso en el periodo entre las dos guerras. Para los fines de este trabajo es importante destacar, sobre todo, el desarrollo de la mecánica cuántica principalmente bajo la dirección de Niels Bohr en Copenhague. Este gran desarrollo hacía pensar que los problemas que le quedaban por resolver a la física teórica en relación a la materia inerte eran pocos, mientras que la materia viva se ofrecía como un horizonte totalmente inexplorado en el cual faltaban por explicar la inmensa mayoría de los procesos (Schrodinger, 1944).

John D. Bernal (1954, 1981 p.488) llama la atención sobre una "pausa" similar del desarrollo de la física en los años

posteriores a la consumación de la Síntesis Newtoniana, en un periodo de "latencia" inmediatamente previo a la Revolución Industrial del siglo XVIII (aproximadamente de 1690 a 1760), y "en cierto modo" sitúa sus causas en razones internas del propio mundo científico. Contrariamente a su enfoque histórico paradigmáticamente "externalista" (es decir, centrado en las necesidades y capacidades de la producción económica de una sociedad histórica dada), J. D. Bernal dará a esta "pausa" una explicación muy similar a la que se da para la ocurrida en la física de inicios de este siglo: "El prestigio de Newton dió a la ciencia una orientación que la hizo estéril por muchos años, debido al carácter definitivo de la obra de Newton, y a la distancia en que este superó a sus contemporáneos" (p. 488). Este sentimiento de incapacidad ante los enormes logros científicos de una generación anterior, aunada a la sensación de que se ha alcanzado una teoría sintética insuperable, permanece hoy en día como una hipótesis histórica aceptada en general.

Sin dudar del alto valor que tiene la intuición en la reconstrucción histórica de un evento, así como de la posible riqueza heurística de dicha explicación, consideramos necesario señalar dos aspectos problemáticos de la misma: El primero sería la carencia de una confirmación empírica de la existencia de dicha pausa (en ambas situaciones históricas). De hecho, J. D. Bernal considera que el desarrollo científico/productivo continuó su marcha ascendente después de la Síntesis Newtoniana, "si bien en términos relativos decayó"; ello sin aportar ninguna referencia empírica que permita establecer una comparación confiable. En segundo lugar, los estudios históricos en torno a los físicos y la biología molecular (entonces "en potencia")

podrían estar exagerando el grado de la "pausa" y del sentimiento de "incapacidad" de la generación de físicos posterior al desarrollo de la mecánica cuántica. Consideramos que ello se debería, principalmente, al efecto artificioso que tiene, sobre la reconstrucción histórica objetiva, el trabajo histórico de divulgación que han realizado algunos de los protagonistas de estos acontecimientos. En efecto, la importancia concreta, individual, de los autores de algunas de las biografías y relatos históricos en torno al nacimiento de la biología molecular (F. Jacob, J. Watson, S. Luria, M. Delbruck, etc.), hace aumentar la creencia en sus explicaciones y experiencias, pasando a segundo término tanto la descripción de aquellos físicos (seguramente la inmensa mayoría) que permanecieron en sus mismos campos de estudio, como la consideración de otras causas que pudieron motivar a "protagonistas menores" en su adopción del nuevo objeto a estudiar. Ahora bien, en concreto este fenómeno explicaría, parcialmente, la migración a la biología de investigadores como Max Delbruck, Salvador Luria y, en menor grado, Francis Crick.

b) Una segunda causa invocada para justificar la migración intelectual tiene que ver con la primera utilización catastrófica de la energía atómica al final de la Segunda Guerra Mundial. Según Stent (1968) dicho acontecimiento sumió en una grave depresión y culpabilidad a un buen número de físicos, los cuales vieron en la biología un gran campo de trabajo "inocente". El ejemplo más claro de una "conversión" de este tipo lo constituye Maurice Wilkins, quien durante la guerra comenzó trabajando en el radar y después pasó a formar parte del Proyecto Manhattan; posteriormente, a partir de 1969, se convirtió en presidente de

la Sociedad Británica para la Responsabilidad de la Ciencia.

Una vez más, no debemos pasar por alto la falta de un estudio empírico mas serio que confirme ya no la toma de conciencia política de muchos científicos en esta etapa histórica, y que marcará una importante división al interior de la comunidad científica hasta hoy en día (diríamos que entre "los concientes de los posibles efectos nocivos de la ciencia" y los "apolíticos" o indiferentes), sino -lo que es relevante al presente trabajo- la conexión entre dicha toma de conciencia política y la adopción de un nuevo objeto de estudio.

c) Como tercera causa de la migración geográfica de numerosos científicos alemanes y centroeuropeos a Estados Unidos e Inglaterra (cuna doble de la biología molecular) se considera el advenimiento de la situación de guerra a lo largo de la tercera década de este siglo. Si a ello añadimos la gran proporción de científicos judíos trabajando en la comunidad científica alemana y de Europa Central (Italia incluida) al momento del ascenso incontestable del nazismo (1933) observaremos que, ciertamente, este fenómeno "extracientífico", estrictamente de orden social-político, tuvo una gran importancia en la migración geográfica de los científicos.

Sin embargo, una vez más esta causa, en su relevancia para los orígenes de la biología molecular, tampoco se encuentra libre de problemas. El primero sería el hecho de que explica la migración en general de intelectuales hacia los países anglosajones, y no específicamente la de los físicos. Obviamente ello impulsó modificaciones tanto en la organización del trabajo científico en Estados Unidos e Inglaterra, como en la fusión de

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

distintas perspectivas y metodologías en todos los campos del conocimiento (desde el psicoanálisis y la filosofía hasta la física y la medicina), pero en el caso de la biología molecular nos dice tan poco de sus orígenes como lo que podemos rastrear en particular de aquellos protagonistas que se vieron afectados. Cabría destacar, entre ellos, a Salvador Luria (italiano) y a Max Delbruck (alemán), quienes migraron en los años treinta a los Estados Unidos, pero en quienes todo parece indicar que su formación cercana a la física influyó su trabajo de modo más determinante que su condición de emigrados judíos.

El segundo problema sería de otro tipo, y se encuentra relacionado con la cuestión (meta-histórica) de decidir en torno a diferentes tipos de reconstrucción histórica. En el caso de la historia de la ciencia la tradición historiográfica anglosajona considera dos perspectivas lógicamente posibles: la visión externalista (que considera las determinantes económicas, social-generales y tecnológicas), y la internalista (que considera el argumento, la razón y la evidencia como motores del desarrollo científico) [2]. Ante las contradicciones y dificultades a las que ha conducido la delimitación de los aspectos internos y externos a la ciencia, a partir sobre todo de los años 60's y 70's se ha intentado la reintegración de los dos grupos de determinantes históricas en modelos historiográficos de tipo sintético; intento que se refleja paradigmáticamente en las obras de T. S. Kuhn (1962), S. Toulmin (1973) y, recientemente, D. L. Hull (1989). Ahora bien, el problema con las explicaciones causales de tipo externalista en la historia es su generalidad, incapaz de dar cuenta de los fenómenos concretos y del desarrollo específico de una rama de la ciencia. La migración de científicos

alemanes a Estados Unidos e Inglaterra seguramente es condición importante para que se lleve a cabo una concentración, cooperación e intercambio de ideas y métodos imposible bajo otras circunstancias, pero aún estamos muy lejos de encontrar y matizar las posibles mediaciones que se encuentran entre este fenómeno demográfico general y el desarrollo de la biología molecular en particular. Más aún, el tipo de explicaciones externalistas generalmente utilizadas corresponden a lo que se denomina "estructuras" que, por definición, excluyen la importancia (creemos que real) de las situaciones coyunturales [3].

d) Por el contrario, una última causa de tipo general, escasamente señalada es la del estímulo que la Fundación Rockefeller dió a los físicos que desearon incursionar en problemas de la biología, e incluso al estímulo para que dentro de sus programas de investigación en la física y la química incursionaran en aspectos biológicos. Tal es el caso del apoyo económico a los grandes proyectos de Linus Pauling (que a partir de una beca anual de USD\$10,000.00 en 1933 solicitaba una de USD\$1'000,000.00 al finalizar la Segunda Guerra Mundial) y de W. T. Atsbury (quien recibió este apoyo por veinte años). En general la Fundación proporcionó este tipo de ayuda de gran magnitud tan solo a programas que ofrecían una "seguridad" en la recuperación de la inversión, pero es necesario destacar que el requisito primordial para obtener un apoyo menor consistía en la demostración de que la investigación a realizarse en problemas biológicos implicaba la transferencia de técnicas y tecnología físicas a la biología (Abir-Am, 1982a).

2.1.2 El papel de la Fundación Rockefeller en la delimitación de un Programa de Investigación.

Tanto en los Estados Unidos como en Europa, una de las condiciones a destacar en el desarrollo de la Biología Molecular consistió en la creciente presencia del apoyo económico proveniente de las fundaciones filantrópicas privadas, como la Merck y la Guggenheim, pero en especial la Fundación Rockefeller. Esta, a pesar de ser una "causa general" a la cual se le aplicaría una problematización similar a la de la causa anterior (el estado de guerra interna y externa en Alemania y Europa Central), tiene varias ventajas: la primera sería el hecho de que tiene un componente altamente selectivo ya que, por ejemplo, la Fundación Rockefeller (la más grande de las fundaciones filantrópicas por el monto de sus donaciones y la más importante por su relación especial con las ciencias naturales) desarrolló en estos años una estrategia de apoyo preferente a los científicos naturales a través de las becas de proyecto y las becas individuales de la National Science Foundation (NSF), una institución pública [4]. La segunda ventaja es que, por lo menos parcialmente, en este nexo entre la Fundación Rockefeller y los científicos naturales si encontramos una estrategia explícita vinculada al desarrollo en específico de la biología molecular: la creación en 1932 de un proyecto inicialmente llamado "Procesos Vitales" y posteriormente de "Biología Experimental", bajo el programa de Ciencias Naturales (NS). Dicho proyecto debía concentrarse en el desarrollo de la biología, pero no necesariamente en el de los biólogos. De hecho desde un inicio

este proyecto apoyó especialmente a físicos y químicos, por lo que se ha atacado directamente a su impulsor, Warren Weaver, de promover la reducción de la biología a la química y la física (Fuerst, 1984). W. Weaver, por su parte, afirmaba el carácter no compartamentalizado del nuevo enfoque "biológico" que debía concentrarse en los "procesos vitales" (Kohler, R. E. 1984 p.275). El programa de apoyo a las ciencias naturales iniciado por el propio Weaver en la Fundación Rockefeller de ninguna manera se estableció con facilidad, ya que hubo de delineararlo en términos académico-científicos y en términos políticos para ser del agrado de los donadores (Kohler, R. E. p. 267). De hecho, la primera vez en la historia en que se habla de la "Biología a nivel Molecular" dentro de un contexto general como proyecto de investigación es en el Reporte de la División de Ciencias Naturales de 1938, elaborado por el mismo Weaver (Abir-Am, 1982a). Este programa en realidad fué definido a lo largo de toda la década de los 30's, y -lo que es relevante para nosotros- básicamente consistió en el paulatino desacoplamiento del programa con respecto a las disciplinas biológicas establecidas, así como en la incorporación de científicos de otras ramas. Ahora bien, en contra de versiones deterministas de tipo sociológico acerca del papel protagónico de la Fundación Rockefeller como "creadora" de la Biología Molecular, y de una historia "apologética" que cree ver en la política de la Fundación de los años 30's una prefiguración o predicción de lo que sería esta disciplina en los años 60's, Pnina Abir -Am (1982a, 1984) ha dado una interpretación que nos parece correcta y que cuestiona una serie de supuestos historiográficos importantes:

Según Abir-Am (1982) la "disciplina" en proceso de formación a la que en los años 30's se llamaba "biología molecular" o "biología sub-celular" en los reportes de la Fundación, no era de ninguna manera la misma biología molecular que se ejercía en los 60's, fuertemente dirigida a la investigación del DNA y la genética molecular. Específicamente entre los objetivos de tipo "filosófico" presentes en la política de Weaver en los 30's no se encontraba el reduccionismo; en realidad Weaver se apegaba a un cierto "positivismo pasado de moda" y a una noción general de que "el progreso socioeconómico se alcanzaría con el desarrollo de la biología" (Abir-Am, 1982a), por lo que había de impulsarse este desarrollo apoyándose en el progreso que ya se había alcanzado en la física.

La política práctica por la cual se implementaron estos objetivos generales consistió en lo que Abir-Am llama "transferencia tecnológica de la física a la biología" (1982a). El requisito indispensable que debía cubrir todo proyecto era la incorporación de métodos y tecnología propia de la física a la solución de problemas biológicos. La habilidad y la familiaridad con estas técnicas obviamente era monopolio de los físicos, quienes pudieron contratar en calidad de técnicos a un cierto número de biólogos.

Para Jacob (1970), por ejemplo, en el nacimiento de la biología molecular son fundamentales tres técnicas: la cromatografía, el uso de radioisótopos y el perfeccionamiento de los métodos de observación, es decir, el microscopio electrónico y, sobre todo, la difracción de rayos X. Pero asimismo se apoya de modo general en los avances de la informática y la comunicación (como se vé en los conceptos de mensaje, código e

información), que derivan del desarrollo industrial y militar de la posguerra. Por otra parte, las tecnologías físicas mencionadas como "cruciales" para el desarrollo de la biología molecular en el Reposte Anual de 1938 de la Fundación Rockefeller son: el microscopio de luz ultravioleta, el microscopio electrónico, la centrifuga, el espectroscopio, la cristalografía de rayos X, las técnicas de radioisótopos, la electroforesis, la difracción electrónica y otros métodos no especificados en "química orgánica estructural, coloidal y de superficies" (Abir-Am, 1982a). Lo importante es que la implementación de estos métodos y prácticas significó -en contra de una versión apologética de la ciencia- el establecimiento de una relación de poder muy especial en los laboratorios: la preminencia de los físicos sobre los biólogos, que no se debió a la búsqueda de un reduccionismo biológico (supuestamente asociado con los físicos), sino al hecho de carácter práctico y concreto de que la mayor familiaridad y habilidad de los físicos con las técnicas y tecnología utilizadas produjo la contratación de los biólogos tan solo como investigadores asociados (no directores de proyecto) y como técnicos. Obviamente los directores de proyecto apoyados por la Rockefeller tenían siempre una formación previa en la física (Abir-Am, 1982a), y un ejemplo clásico de esto es la dirección del proyecto de cristalografía de ácidos nucleicos implementado a través del Medical Research Council en el King's College de Londres y que dirigía Joseph Randall.

El carácter específico de los proyectos promovidos por la Fundación no siempre aseguró su éxito y relevancia para el desarrollo de la biología molecular. En especial la transferencia de métodos de la física a la biología no aseguró una comprensión

de los problemas de la biología y, en muchos casos, ni siquiera fué suficiente para motivar el interés de los físicos en estos problemas, a los cuales muchas veces se refirieron solo de modo secundario. Abir-Am aporta (1982a) elementos sorprendentes que documentan específicamente los casos de Pauling y Atsbury. Pero si bien ninguno de los proyectos apoyados condujo a una redefinición clara de la biología en términos de las ciencias exactas, el logro de la Fundación Rockefeller fué la estabilización de las carreras profesionales de muchos científicos, así como la organización de su trabajo en numerosos grupos de investigación. De esta manera quedaría eliminada la versión sociológica determinista que vería en la política de la Fundación Rockefeller la causa de la creación de la biología molecular ; asimismo cuestionaría una visión "descontextualizada" de la historia que desea ver en los proyectos y definiciones de los 30's la biología molecular que surgiría en los 60's.

Ahora bien, la intención inicial de W. Weaver era promover la investigación biológica desde las ciencias exactas en grupos de investigación pequeños y localizados "estrategicamente" en función de las prioridades de la Fundación; ejemplos de este tipo de apoyo son los que recibieron Max Delbruck y Maurice Wilkins.

Sin embargo, a Weaver no le fué fácil convencer por completo a los donadores con respecto a la ayuda exclusiva a pequeños grupos y, finalmente, tuvo que aceptar la ayuda a grandes proyectos centrales -como el de Pauling y el de Atsbury- que, según los donadores, aseguraban el "retorno de la inversión"

De hecho, el proyecto de Procesos Vitales constituye el mejor

ejemplo de la transición de un sistema tradicional de "patronazgo" de la ciencia a uno de delimitación estratégica de una "política científica" a seguir; con él se abren las puertas de lo que se conoce como el periodo de la "Gran Ciencia" en los Estados Unidos (Abir-Am, 1982a). Para nuestra particular reconstrucción constituye un elemento relevante la injerencia de la Rockefeller en la organización del trabajo de investigación en pequeños equipos o grupos, así como su posterior fusión en "demos" (Hull, 1989), donde la "hibridización conceptual" podía ocurrir con mayor eficacia.

La discusión en torno al carácter reduccionista o no de las explicaciones y las estrategias de investigación de la biología molecular desde sus orígenes continúa y será tema del capítulo IV. Sin embargo es relevante el hecho de que las reconstrucciones históricas especializadas más recientes (como las de Prina Abir-Am, 1991 y S. Sarkar, 1989) enfatizan la naturaleza supra-disciplinaria de la biología molecular desde su origen. El mismo F. Jacob (1970) en La lógica de lo viviente, destaca que el objeto de la biología molecular -y del programa de "procesos vitales"- no es ni el gen ni la proteína, sino la larga cadena causal que vá de la información a la ejecución, y este objeto de estudio, por si mismo, implica la multidisciplinareidad y hace patente la necesidad de una nueva colaboración de diferentes especialistas, aplicándose todo método útil. "[La] biología molecular no puede ser competencia exclusiva de individuos aislados, preocupados cada uno de ellos por su problema y por su organismo. A partir de ahora lo que se exige es un esfuerzo conjugado de técnicas y de hombres" (p249). Así, tanto en su estrategia de investigación como al momento de

resolver problemas técnicos esta nueva biología requerirá del concurso de múltiples disciplinas y del desarrollo tecnológico (factor inexplicablemente olvidado en las diferentes "historias" de la biología molecular).

Todo lo anterior será relevante en la contrastación con el modelo de Hull, ya que al menos parece contradecir su esquema básicamente competitivista o ultradarwiniano; como vemos, el papel de la Fundación Rockefeller fué determinante en la organización de la cooperación y el esfuerzo conjunto de muchos investigadores.

Un último aspecto de la referencia al papel que jugó la Fundación Rockefeller sería el hecho de que las figuras importantes en los orígenes de la Biología Molecular contaron con becas de la National Science Foundation (NSF) bajo el proyecto de Biología Experimental. Entre ellos destacan M. Delbruck, S. Luria y J. Watson. En el caso de los científicos que permanecieron en Inglaterra el apoyo financiero provenía no solo de la Fundación sino del gobierno, a través del Medical Research Council (MRC), y tenemos ante todo la evidencia de Max Perutz (figura central de la escuela estructuralista y posterior director del Laboratorio de Biología Molecular en Cambridge) en el sentido de que "por esos años" el dinero fluía fácilmente hacia los laboratorios, sin un aparato burocrático que obstaculizará a los proyectos nuevos, justificables tan solo por sus remotas posibilidades de éxito (Perutz, 1981).

Así pues, la puesta en marcha de condiciones adecuadas para el desarrollo científico pueden ser rastreadas al compromiso del capital industrial (Estados Unidos) y el Estado moderno

(Inglaterra) con el desarrollo científico, y si bien ello de ninguna manera explicará los contenidos concretos de la biología molecular, si consideramos pertinente no olvidar que ese financiamiento de alguna manera los possibilitó.

Ahora bien, la discusión que hemos realizado se refiere a un problema histórico: hemos asumido que -tal vez no con el peso relativo que se le ha dado en la literatura de divulgación- la llamada "migración" intelectual y geográfica de físicos a la biología anglosajona y el apoyo económico a una rama "creada" de la investigación biológica ocurrió especialmente en los años entre las dos guerras e inmediatamente después de la Segunda Guerra Mundial. El problema al que tratamos de dar una respuesta -multifacética- es el cómo y el por qué estos hechos han guardado relevancia para el desarrollo de la biología molecular. Asumimos que de conocer la respuesta, nuestra reconstrucción histórica de ese momento sería mas precisa, pero a todo lo anterior ¿qué contestaría el modelo historiográfico de David Hull?

Como vimos en el capítulo I, la inquietud de Hull se concentra en las "relaciones interdémicas" de la comunidad científica y en las relaciones de linaje conceptual que se transmiten a través de las generaciones de científicos mediante la "adecuación inclusiva conceptual". Por definición, en cambio, los fenómenos de migración, y obviamente aquellos a los que nos hemos referido, implican la desconexión de los individuos con respecto a una comunidad anterior, sea intelectual o nacional, o incluso la desaparición de la comunidad original, y dicho fenómeno estaría escasamente explicado en el modelo de Hull. Por el contrario, en un segundo momento de la historia de la biología

molecular, en que ocurre la formación de grupos de investigación y "demos" que intentan "perpetuar" sus estrategias, ideas o métodos, el análisis de Hull encuentra su "nicho" adecuado. El problema está, pues, en los orígenes o etapa en que son puestas las condiciones de tipo general para el desarrollo de la biología molecular. ¿Cómo explicar esta "puesta de condiciones" desde una perspectiva evolucionista?

Tratemos primero de encontrar analogía con el concepto de preadaptación. En este caso específico dicho concepto de la biología evolutiva podría responder a la migración intelectual y geográfica de los científicos que, seguramente, no predijeron a dónde iban a conducir -científicamente hablando- esos acontecimientos; sin embargo la intención explícita de la Fundación Rockefeller de apoyar un tipo de investigación específica nos lleva al problema de la intencionalidad de los acontecimientos humanos. No hablamos de una intencionalidad individual, y ni siquiera de una intencionalidad maquiavélica de los dirigentes de la Fundación Rockefeller, sino de una coordinación planeada, general y necesaria, de la ciencia y la industria en la sociedad moderna.

Por último, refirámonos al caso de las migraciones biológicas, a las que Hull solamente se refiere como posibilidades en su modelo. Como sabemos, los organismos migran precisamente por causas naturales, tales como la erupción de un volcán o la emergencia de una isla, y específicamente en medio de condiciones de tipo azaroso. Por otra parte, las posibles causas de la migración de un científico son variadas y casi específicas de cada caso, dependientes no solo de la voluntad individual - como podría ser el caso parcial de la politización frente a los

posibles efectos nocivos de la física atómica-, sino de complejas situaciones de tipo social general, económico o cultural producidas por la misma sociedad humana. De nuevo, esta producción responde a una dinámica específica de la sociedad moderna, caracterizable en términos generales como una dinámica de "acumulación ilimitada" que explicaría, por ejemplo, el caso de las dos grandes guerras mundiales de este siglo. Esta dinámica es muy diferente a la dinámica de otras sociedades históricas (Wallerstein, 1992). Y más aún: entre las "causas" de la migración podemos afirmar que las más relevantes son aquellas que específicamente contienen un elemento explícito de intencionalidad individual o colectiva. Así pues, todos los fenómenos sociales invocados en la reconstrucción histórica anterior son contextualizables solamente en una sociedad dada, e imposibles de situarse, por ejemplo, bajo la dinámica más regional y de escasa movilidad social de unos siglos atrás. Garland Allen (1991) ha señalado acertadamente esta anomalía del enfoque evolucionista de Hull: la ciencia evoluciona, pero el proceso mediante el cual ello ocurre parece estar instalado en la inmovilidad temporal, al no reconocerse la existencia de otras condiciones y formas históricas de desarrollo (o evolución) del conocimiento.

Lo más importante es destacar la diferencia insoslayable que existe entre los sistemas naturales y los sociales: la intencionalidad. Una intencionalidad no "individual" dependiente del "libre arbitrio", como la que piensa Hull y el pensamiento neo-liberal, sino histórica y socialmente delimitada -eso sí, perteneciente a los individuos, las colectividades o instituciones- que ha permitido que la historia humana se

distinga de la evolución biológica por las distintas formas concretas adoptadas. Cualquiera que sea nuestra "clasificación" de las etapas del desarrollo humano, estas destacan la especificidad de la dinámica de las diferentes sociedades en diferentes estadios de su desenvolvimiento y, por lo tanto, de los individuos que en ellas viven. Por otra parte, creemos que este es precisamente el obstáculo clave para la elaboración de una epistemología y/o historiografía evolucionista que se guíe por los "procesos selectivos" del tipo de la selección natural. Toda vez que se pretenda construir una teoría del desarrollo histórico de base naturalista, necesariamente se intentará -como Hull lo hace- disminuir o anular la importancia de la cualidad humana de la intencionalidad (debidamente matizada).

2.2 Conformación de los grupos de investigación

La migración de físicos hacia la biología constituyó, con seguridad, uno de los aspectos determinantes para el tipo de desarrollo metodológico y conceptual de esta nueva biología del siglo XX.

Sin embargo, las consecuencias de la migración de investigadores físicos a la biología no fueron solamente de tipo "personal", como una mera modificación del objeto de estudio de estos investigadores sino, principalmente, de tipo conceptual,

que afectaron muy esencialmente a los modos de pensamiento y perspectivas de la biología.

En los inicios de la Biología Molecular se observan claramente dos grandes enfoques casi antagonistas: un enfoque funcional de la naturaleza del gen, en el que quedarían comprendidos el grupo del fago, el grupo "médico" de Avery, el grupo genético-fisiológico del Instituto Pasteur y los grupos de bioquímicos (especialmente el de Chargaff y el de Beadle y Tatum), y un enfoque estructural del gene que comprendería especialmente a los grupos ingleses de Sir Lawrence Bragg y de Maurice Wilkins y al norteamericano de Linus Pauling. Por necesidad de la exposición, que se centra "unidimensionalmente" en el desarrollo del modelo de DNA, no profundizaremos en aquellos grupos que tuvieron solo importancia indirecta o incluso nula para el descubrimiento de Watson y Crick, abocándonos en especial a la delimitación de los grupos de los que provenía la información utilizada por ellos.

Ahora bien, específicamente los físicos tuvieron contacto con la biología -y los problemas informacionales/genéticos- principalmente por dos vías: La mecánica cuántica y la cristalografía de rayos X.

Los físicos que se percataron de la especificidad, complejidad e importancia de los problemas genéticos fueron, precisamente, algunos de los investigadores más destacados de la mecánica cuántica, como Niels Bohr y E. Schrodinger. Además, M. Delbruck, quien tuvo un papel determinante en el desarrollo de la biología molecular era alumno de Bohr. Ahora bien, todo parece indicar que tanto el pensamiento probabilístico típico de la mecánica

cuántica, como la elección de problemas de tipo analítico y atomístico así como las estrategias de investigación, guardan una estrecha conexión con la perspectiva que estos físicos aplicaron a la biología, y que veremos especialmente reflejada en el grupo del fago y en la escuela estructural inglesa.

2.2.1 El Grupo del Fago y la Elección de un Objeto de Estudio

En 1932 Niels Bohr formuló, en una conferencia titulada "On Light and Life" y publicada al año siguiente, la idea de que algunos fenómenos biológicos no podían ser explicados totalmente en términos de conceptos físicos convencionales, así como la teoría cuántica del átomo no podía ser deducida a partir de la mecánica clásica. En primer lugar, Bohr asume que el principio de complementariedad por él enunciado es necesario para interpretar los resultados de la mecánica cuántica, lo cual está en duda incluso para la misma interpretación de la escuela de Copenhague; en segundo lugar a este principio de complementariedad se le debe distinguir del principio de incertidumbre de Heisenberg, que deriva de la estructura formal de la mecánica cuántica y es independiente de cualquier interpretación; por lo tanto, y en tercer lugar, cualquier argumento que trate de establecer el principio de complementariedad en la biología (como el de Bohr y posteriormente el de Delbruck). además de basarse solamente en la analogía, se basa en una afirmación bastante dudosa de la física.

Ahora bien, este principio de complementariedad de Bohr -a pesar de que su definición varía y es incluso ambigua- mínimamente implica que en la explicación de cierto fenómeno no

hay una explicación única que explique por completo el fenómeno, y que por lo menos otro enfoque, incompatible con el primero, será necesario para obtener una explicación completa. En el caso de la biología el principio de complementariedad implica que, de darse una explicación de tipo bioquímico, químico o físico a un fenómeno, habrá de darse también una segunda explicación incompatible para explicar por completo dicho fenómeno biológico. Por ello. si Bohr y luego Delbruck estuvieron motivados por la búsqueda de la complementariedad biológica, ello implica que su estrategia de investigación es anti-reduccionista, en el sentido de que no los guiaba, fundamentalmente, la intención de llevar a cabo una reducción de la biología a la física y la química, si bien, a la larga, sus explicaciones si cayeron dentro de lo que Sarkar (1991a) denomina reduccionismo explicativo.

En "Light and Life" Bohr establece el hecho de que hay aspectos de los organismos vivos que están más allá del poder explicativo del análisis científico. Ello conduce a una analogía no entre las propiedades formales de la luz y de la vida, sino entre cierto aspecto de la interpretación de Bohr de la mecánica cuántica y los intentos por explicar los fenómenos de la vida en términos físicos y químicos. Un análisis de las características esenciales de la vida ya no puede ubicarse en las analogías tradicionales entre un organismo y un reloj, sino en la compleja organización de características mecánicas usuales y características atómicas que no tengan una contraparte en la naturaleza inorgánica. El abandono de las explicaciones mecánicas de la física, según Bohr, debe conducir a un nuevo acercamiento a la biología.

La postura de Bohr no es estrictamente vitalista porque asume,

"newtonianamente", la uniformidad de la naturaleza, y no es reduccionista porque señala la diferencia en las condiciones de investigación de la física y la biología, de la cual deriva la necesidad del principio de complementariedad. En efecto, la necesidad de mantener vivo al organismo impone una restricción que no existe en la física, la cual se contrapone al intento de investigar el papel jugado por los átomos en las funciones vitales. Así, el acto de "medición" introduce una alteración incontrolable en el sistema viviente que conduce a un conocimiento incompleto de las características del organismo. La imposibilidad de la determinación de las propiedades físicas y químicas de un organismo mientras está vivo requiere de un modelo de descripción y análisis que sea complementario. Este análisis complementario -en la perspectiva de Bohr- probablemente dota de un lugar adecuado a las explicaciones teleológicas, que así no entrarán en contradicción con las explicaciones mecanicistas tradicionales. Así, el concepto de propósito, que es ajeno al análisis mecánico, encuentra un cierto campo de aplicación en problemas donde se debe atender la naturaleza de la vida (Bohr, 1933 p.458). A pesar de todo, la postura de Bohr conserva cierto vitalismo, ya que asume que un organismo al morir pierde una propiedad especial irremediablemente, en contradicción con el principio de uniformidad de la materia.

Esta idea fué llevada al campo de la genética por uno de sus discípulos, Max Delbruck, un joven emigrado alemán. Si bien existen evidencias de un interés de Delbruck por la biología antes de 1932, sí parece bien fundada la afirmación de que el impulso decisivo lo constituyó el conjunto de ideas de Bohr (Kay,

1985 citado por Sarkar, 1989 p.106). El compromiso de Delbruck con la idea de complementariedad en biología duró hasta su muerte en 1981, si bien su concepto de esta difería del de Bohr y evitaba por completo el vitalismo.

En primer lugar, Delbruck se abocó, desde un principio, al problema de la herencia, o continuidad de la vida, mismo que Bohr ignoró; y en segundo lugar la existencia de las leyes de la genética de Mendel lo convenció de que podían existir leyes exactas en la biología, que sin embargo carecieran de una explicación física completa. En 1935 Delbruck publica un artículo junto con Timofeev-Ressovsky (genetista) y Zimmer (radiólogo) en el que expone su modelo cuántico del gen, basado en la llamada "target theory" de las mutaciones genéticas. Esta teoría era utilizada para estimar el volumen de la "región sensitiva" dentro de la célula de un embrión, que al ser disparada con radiación, provocaría la muerte de la célula; el volumen sensitivo puede ser estimado de la relación entre el número de cambios inducidos por la radiación y la intensidad de esta. Muller y muchos otros habían inducido así mutaciones desde 1930, pero se negaban a usar el método para medir el tamaño de un gen porque los resultados contradecían las estimaciones obtenidas mediante métodos tradicionales, tales como la recombinación y los análisis citológicos. Posteriormente otros autores utilizaron el método con los mismos fines de Delbruck (Sarkar, 1989), pero este último se distinguió tanto por su claridad como por el tamaño particularmente pequeño que obtuvo para la "región sensitiva", a la cual no identificó con el gen mismo, como haría posteriormente Schrodinger. La originalidad de Delbruck consistió, mas bien, en el uso de la mecánica cuántica para ver qué podía explicar de la

naturaleza del gen.

Segun Delbruck la quimica no podria ofrecer un acercamiento adecuado al estudio del gen, debido a la dificultad de obtener suficiente material en estados moleculares idénticos para un análisis apropiado. Es decir, la naturaleza especifica de cada uno de los genes -sinónimo de la gran diversidad de caracteres biológicos- hacia imposible el estudio tipicamente estadístico que la quimica utilizaba en la quimica inorgánica. Ahora bien, según Delbruck lo que había que explorar era "la naturaleza de los límites de la estabilidad del gene, para ver si coinciden con lo que [sabían] acerca de las asociaciones atómicas bien definidas sobre la base de la teoría atómica" (Timoffeev-Ressovsky, Zimmer y Delbruck, 1935). Para explicar la estabilidad del gene a través de las generaciones manifestada en la permanencia casi total de los caracteres, así como la posibilidad de mutaciones en dichas entidades estables, Delbruck consideraba a los genes como estados estacionarios -un concepto clave de la mecánica cuántica para explicar la estabilidad de la materia-, y a las mutaciones como transiciones entre estados estacionarios discretos -análogos a los cambios de estado cuántico-, correspondiendo cada una de ellas a una "asociación atómica" particular. El modelo cuántico del gen, como podemos ver, era un modelo bastante general, y posteriormente se demostró que no explicaba correctamente la naturaleza de las mutaciones.

La noción de complementariedad que Delbruck sostenía se diferenciaba de la de Bohr en dos aspectos: Primero, no guardaba relación con la cuestión del mantenimiento de la vida durante la realización de experimentos (mediciones), lo cual tiene especial importancia para comprender el enfoque experimental reduccionista

que Delbruck utilizó en todo su trabajo posterior, que contrasta con su estrategia de investigación antirreduccionista. Y segundo, estaba basada en la imposibilidad de reducir explicaciones causales -como las de la biología tradicional o la comprobación de que los elementos orgánicos eran elementos del tipo familiar en la química-, a explicaciones no causales -como las que se encuentran a la base de la física atómica (citado por Sarkar, 1989 p.113). Según Delbruck los compuestos químicos de cualquier célula pueden ser analizados y obedecen a las leyes de la física, pero no se puede obtener una sola bacteria viva a partir de la mezcla de esos compuestos, a menos que se introduzcan acercamientos totalmente nuevos y complementarios.

La cristalización del virus del mosaico del tabaco en 1935, llevada a cabo por Stanley, tuvo una gran importancia en la determinación del camino que siguió Delbruck, ya que demostraba que una entidad aparentemente viva podía ser lo suficientemente simple como para cristalizar. La cristalización uniforme sin alterar la infectividad del virus hacía concluir a Delbruck que los virus eran "...cosas cuya constitución atómica está tan bien definida como la de las grandes moléculas de la química orgánica...Por tanto, hablaremos de los virus como de moléculas. Si ahora atendemos la propiedad del virus que lo define como un organismo vivo, es decir, su habilidad para multiplicarse dentro de [un organismo], entonces nos preguntaremos, primero si este logro es del hospedero como organismo vivo, o si el hospedero es solo el proveedor y protector del virus ofreciéndole condiciones físicas y químicas adecuadas...[Debido a que] la replicación del virus requiere la síntesis de una molécula enormemente complicada que es desconocida para el hospedero...[por tanto] no puede haber

duda de que la replicación de un virus debe tomar lugar con su participación directa...Por lo tanto estudiaremos la replicación del virus como un logro autónomo del virus, y para la discusión general podemos eliminar al hospedero. En seguida nos preguntaremos si debemos ver la replicación viral como un caso particular y puro de la genética, o como un fenómeno complejo, desde el punto de vista de la genética" (citado por Sarkar, 1989 p. 115). Lo primero a destacar de la cita anterior es la capacidad de abstracción propia de los análisis de los físicos, que habría de ser una de sus aportaciones permanentes a la biología molecular: es decir, la capacidad de hacer caso omiso de variables consideradas no relevantes para el análisis (por ejemplo, el hospedero mismo) y que, en la concepción más integrista de la biología tradicional, escasamente se llevaba a cabo.

Delbruck también va a mencionar la posibilidad de llevar a cabo una investigación reduccionista, si bien es interesante destacar que el principal obstáculo que observa para que se lleve esta a cabo es la naturaleza evolutiva o histórica de los componentes de un ser vivo: "Queremos observar la replicación de los virus como una forma particular de replicación primitiva de los genes[...]. En este sentido uno debiera ver la replicación no como complementaria a la física atómica, sino como un truco particular de la química orgánica. [Pero] semejante perspectiva significaría una gran simplificación de la cuestión del origen de muchas moléculas altamente complicadas y específicas que se encuentran en cada organismo [...]. Es claro que tal perspectiva, en conexión con los argumentos usuales de la teoría de la selección natural nos permitiría comprender la enorme variedad y

complejidad de estas moléculas, que desde un punto de vista puramente químico parece tan exagerado" (subr. mio. Citado por Sarkar, 1989 p.115). Lo anterior es relevante incluso en la discusión actual en torno a las "posibilidades" reduccionistas de la biología molecular, ya que como señala Sarkar (1990), existe por lo menos un tipo de explicaciones de la biología molecular incapaces -al menos hoy en día- de efectuar una reducción de la biología a la física y la química; estas explicaciones son las que se refieren, precisamente, al origen de las estructuras-mecanismos moleculares adaptados al cumplimiento de ciertas funciones (ver cap. IV)

Un artículo de Delbruck de 1949 expresa claramente tanto sus motivaciones en la investigación, como la esperanza de que esta podía llevarse a cabo de la manera "reduccionista" tradicional hasta que se descubrieran nuevas paradojas que requirieran de enfoques nuevos o complementarios. "Para hacer observaciones estructurales de tan extrema finura [...] sería requerido un número prácticamente infinito de células en estados cuánticos idénticos. Tal requisito no puede ser cubierto en la práctica, y me parece que tampoco en principio. Puede ser que ciertas características de la célula viva, incluida la replicación, se encuentren en una situación mutuamente excluyente con la aplicación estricta de la mecánica cuántica, y que un nuevo lenguaje conceptual tenga que ser desarrollado para abarcar esta situación. [...] En la biología todavía no estamos en el punto donde se nos presenten paradojas claras, y esto no ocurrirá hasta que el análisis del comportamiento de las células vivientes no haya sido llevado a un mayor detalle. Creo que es en esta dirección en la que los físicos mostrarán mayor fervor y crearán

una nueva perspectiva intelectual a la biología que dará significado al término mal usado de biofísica" (Delbruck, 1949, 1981).

Delbruck migró a los Estados Unidos en 1937, integrándose a la investigación en el Tecnológico de California (Cal Tech). Ahí, deseoso de aplicar sus conocimientos físicos a la biología, trabajó primero con Emory Ellis en la demostración del ciclo de vida por etapas de un bacteriófago. Delbruck, quien había tomado interés en los virus a raíz de la cristalización del virus del mosaico del tabaco buscó activamente a Ellis, quien trabajaba también en Cal Tech usando bacteriófagos para sus investigaciones sobre el cáncer. En aquellos años existían dos teorías en torno a la naturaleza de los bacteriófagos: por un lado estaba la teoría sostenida por Félix D'Herelle -codescubridor del fago- quien creía que estos eran parásitos intracelulares obligados; por otro lado biólogos notables como Jules Bordet y John H. Northrop pensaban que el "principio lítico" tenía naturaleza enzimática (Summers, 1991). Evidentemente Ellis compartía la idea de D'Herelle, a la cual también se adhirió Delbruck; dicha "adhesión conceptual" tenía que ver con el carácter altamente cuantitativo y directo de los argumentos de D'Herelle, muy cercanos a los criterios científicos de la física a los cuales estaba acostumbrado Delbruck; digamos que el "linaje conceptual" de ambos era cercano, y muy distante a los "ambiguos" argumentos bioquímicos del otro grupo de biólogos dedicados a los fagos. Desde 1926 D'Herelle había descrito a grandes rasgos su ciclo vital: unión del virus con la bacteria, multiplicación del fago en el interior de la célula bacteriana y liberación de la progenie del virus mediante la lisis o ruptura de la célula

infectada. Los datos que apoyaban esta secuencia de eventos eran indirectos, ya que el microscopio electrónico no se utilizó hasta 1939 y se usó, en biología, hasta 1940. Según la idea tradicional Delbruck y Emory afinaron los experimentos de multiplicación del virus y desarrollaron el método de conteo de placas para la experimentación viral, siendo esta una de las más importantes aportaciones de Delbruck a la biología molecular, demostrándose así la secuencia del ciclo del bacteriófago y la exactitud regular con que se alcanzaba el punto de lisis. De acuerdo a Summers (1991) este experimento llamado de "multiplicación en un paso" (one-step growth) a pesar de ser atribuido a Delbruck era piedra clave del concepto de multiplicación del fago de D'Herelle, como Ellis bien sabía. Además, Ellis ha afirmado que "mi primer trabajo consistió en desarrollar la técnica de conteo de placas y mostrar que las curvas por etapas mostraban que el fago se multiplicaba en la bacteria, no en la solución. Estas curvas de crecimiento por etapas intrigaron a Delbruck, y creo que fueron responsables de que se quisiera unir al trabajo" (citado por Summers, 1991).

Para 1939, año en que se publicó el artículo de Delbruck y Ellis sobre la "multiplicación en un paso" de los bacteriófagos en cultivos bacterianos, estaba claro que los modelos microbianos dejaban muchas preguntas por hacer y resolver en una escala (molecular) que la genética clásica no había considerado. Además, se había establecido el primer método cuantitativo para la replicación viral.

En 1940, cuando Delbruck pasó a la Universidad Vandervilt su

inquietud por el modelo del bacteriófago continuó. Como hemos visto, para un físico con inquietudes biológicas la relación fago-bacteria representaba un modelo sencillo en donde estudiar los problemas de la reproducción y la herencia. A diferencia de los modelos que utilizaban los genetistas clásicos (como la mosca de la fruta, Drosophila melanogaster), este parecía contener menos variables imprevistas debido a la sencillez de los organismos involucrados y a la rápida reproducción de estos que permitía la obtención rápida de resultados precisos. De hecho, no fué sino con las primeras aplicaciones de la microscopía electrónica -entre 1940 y 1942- que se demostró la complejidad estructural del fago, parecido a un espermatozoide, dejando claro que los bacteriófagos a pesar de su reducido tamaño no eran sustancias químicas o enzimas con actividad biológica como las conocidas, sino partículas con una nueva complejidad. La elección del modelo físico-químico-biológico del fago fué quizás una de las mas grandes aportaciones de la física a la biología, ya que condujo a una delimitación precisa, casi meramente cuantitativa, de los problemas a resolver.

También fué a finales de 1940 cuando Delbruck y Salvador Luria se conocieron, en una reunión de físicos. Luria había comenzado su carrera científica en París como estudiante post-doctoral de Raymond Laterjet, asociado a la investigación con bacteriófagos en el Instituto Pasteur (Summers, 1991); asimismo había tenido contacto en Italia con Enrico Fermi, uno de los principales físicos atómicos. Inmediatamente después de conocerse Luria y Delbruck, comenzaron a planear experimentos conjuntos a realizar en Cold Spring Harbor al siguiente verano. Los Simposios de verano organizados ahí jugaron un papel determinante en el

desarrollo de la biología molecular cuantitativa. Aquel primer Simposio de verano al que asistió Luria trató sobre la Naturaleza del Gen.

En 1943 se agregó al equipo de Delbruck y Luria un microbiólogo llamado Alfred Hershey, quien había sido estudiante post-doctoral de Jacob Bronfenbrenner, uno de los primeros investigadores en bacteriofagos, quien trabajaba en el Instituto Rockefeller (Summers, 1991). Este núcleo de tres investigadores dió coherencia a lo que se conocería como el "grupo del fago", cuyo funcionamiento como equipo de investigación se basaba en la comunicación de todos los resultados, y era una copia -según Delbruck- del grupo que había tenido Bohr en Copenhague. El primer principio a respetarse dentro del grupo era la apertura a la comunicación "...decirle a cada uno lo que hace y piensa. Y que no le importe a uno quién [...] tiene la prioridad [pues], eso es muy trivial" (Delbruck, citado por Judson, 1987 p.60).

Una de las primeras resoluciones tomadas por el grupo fué la de homogeneizar aún mas las investigaciones, mediante el "Tratado del fago" de 1944, concentrándose en la relación entre la cepa B de Escherichia coli y los siete fagos T. La elección del tipo de organismo correcto para la investigación ("right organism for the job") que se va a realizar es una de las características de la biología molecular y, especialmente, del grupo del fago. La elección del modelo bacteria-fago fué de tipo intencional y racional desde un inicio, a diferencia de la elección parcialmente fortuita de Drosophila en la genética clásica (pues si bien Morgan tenía la clara intención de estudiar la genética animal, el "encuentro" con la mosca de la fruta fué casual). Uno de los primeros resultados obtenidos en el Grupo del Fago fué la

determinación (muy importante en el contexto de la genética de esos días) por Delbruck y Luria, mediante la "prueba de la fluctuación", de que las bacterias sufrían mutaciones genéticas, del mismo modo que los organismos superiores. Antes de esto se pensaba que los microorganismos podían transformarse por inducción del medio ambiente, es decir, por un mecanismo lamarckiano de adaptación. De hecho, Luria estigmatizó a la bacteriología como el último baluarte del lamarckismo (Judson, 1987).

Mediante la "prueba de la fluctuación" se demostró que las mutaciones bacterianas aparecían espontáneamente, y sólo entonces podían ser seleccionadas, lo cual era esencial para demostrar que tanto las bacterias como los experimentos genéticos en ellas realizados, eran perfectamente equiparables a los de la genética de animales y plantas. Pero además este fue el comienzo de una serie de aplicaciones metodológicas de tipo estadístico y matemático que se encuentran relacionadas con los modos de pensar de la mecánica cuántica. El sencillo modelo bacteria-fago era el más adecuado para este tipo de investigación.

Posteriormente en 1946 ocurrió el descubrimiento simultáneo de la recombinación viral (Bailey y Delbruck, 1946 y Hershey, 1946), como parte de las aportaciones del grupo del fago.

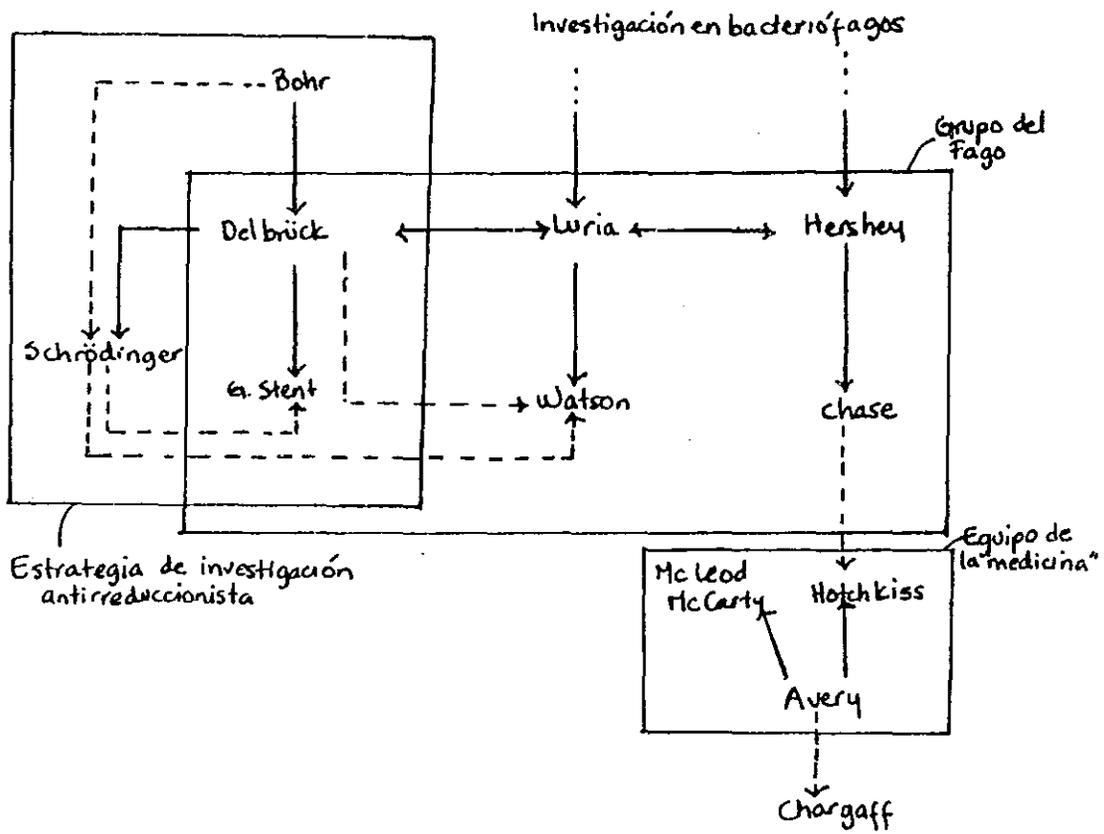
Un último elemento que destaca la importancia de Delbruck en esos años es el hecho de que a partir de 1945 organizó e impartió el curso sobre fagos en Cold Spring Harbor, el cual fue impartido durante 26 veranos más. Por ello, los objetivos anti-reduccionistas de Delbruck deben ser considerados como una influencia constante sobre los miembros del fago. Ahora bien, ello no significa -como podría derivarse, según Hull- que esta

búsqueda haya sido perseguida ni siquiera por una parte considerable de sus discípulos, a pesar de la gran "adecuación inclusiva" de este investigador. El descubrimiento de la estructura del DNA en 1953 significó el fracaso en la búsqueda de la complementariedad en la replicación génica [6], si bien lo relevante es señalar que esta búsqueda constituyó la estrategia de investigación de Delbruck en el periodo que nos ocupa.

Ahora bien, se ha discutido mucho entorno a la importancia real del trabajo de Erwin Schrodinger en la motivación de esta nueva generación de físicos y biólogos dedicados a un nuevo enfoque de la herencia biológica. Ello se debe a que en realidad las ideas de Delbruck expresadas por primera vez en su artículo de 1935 lograron una amplia difusión después de la II Guerra Mundial con la publicación en 1944 del libro Qué es la vida? escrito por Schrodinger, como producto de una serie de conferencias dictadas en el Trinity College de Dublín el año anterior .

Según Sarkar (1989), tres ideas importantes del libro de Schrodinger derivan de su lectura del libro de Haldane New Paths in Genetics (1942): la noción de que la reproducción genética debe de ser un proceso de copiado , y no de crecimiento y división -apoyada por el hecho de la heredabilidad de las mutaciones-; la idea de que el método de copiado debe de ser análogo al de la cristalización, ya sea directa o con la intermediación de un "negativo" relacionado al original como el anticuerpo al antígeno; y el rechazo de Haldane de las explicaciones mecanicistas y su adhesión a las explicaciones dialéctico-materialistas, que sería similar a la concepción de las "nuevas leyes" de la física que sugiere Schrodinger.

FIGURA 1. LINAJE CIENTIFICO DE LOS INVESTIGADORES DEL ENFOQUE INFORMACIONAL Y OTROS



En su libro Schrodinger anunciaba la llegada de una nueva época en la investigación biológica a sus colegas físicos, cuyo conocimiento de la biología se limitaba generalmente a unos cuantos datos "curiosos" sobre la botánica y la zoología.

La visión convencional de la historia de la biología molecular sugiere que, habiéndose hecho la pregunta de qué es la vida uno de los fundadores de la mecánica cuántica, el problema se impuso a los físicos como algo que merecía su esfuerzo, si bien existe un buen número de biólogos moleculares para quienes el libro no significó mucho. El malestar de los físicos en su profesión, del que ya hablábamos, hizo que muchos de estos dirigieran sus perspectivas hacia esa frontera que, según Schrodinger, estaba lista para algunos excitantes descubrimientos. El libro de Schrodinger comienza con la siguiente afirmación:

"La evidente incapacidad de la física y la química actuales para dar cuenta (de los fenómenos espaciotemporales que tienen lugar dentro de un organismo vivo) no significa en absoluto que ello sea imposible para estas ciencias"(Schrodinger, 1944-). Esta primera afirmación de Schrodinger ya lo diferencia de la postura de Bohr, ya que no cuestiona la capacidad de las explicaciones físicas en los fenómenos de la vida.

Quizá la idea más fructífera que introduce Schrodinger, es la de "código genético"[7], en el sentido de que el juego completo de cromosomas contiene la determinación cuatridimensional del organismo (lo que significa no solo la estructura y función de un organismo dado, sino la de todo su desarrollo ontogenético). Para Schrodinger, sin embargo, la palabra "código" era muy estrecha, ya que los cromosomas no solo contienen las "leyes" estructurales y funcionales del organismo, sino que tienen también "poder

ejecutivo"; es decir, son el "plano del arquitecto" y la "herramienta del constructor". Asimismo, Schrodinger señalaba que los desarrollos de la genética demostraban que los genes relacionados con cada característica se arreglaban de manera lineal en el cromosoma y ello aunado a la idea de cristal aperiódico explicaría la diversidad genética: Schrodinger utiliza como ejemplo el código Morse, capaz de expresar innumerables palabras usando tan solo dos símbolos. El código que describe Schrodinger es lineal, responde a leyes estrictas, y el gen debe contener algo que inicie el desarrollo (descartando así el papel del medio ambiente, que parecería dar lugar a la herencia de caracteres adquiridos).

Schrodinger afirmaba también que a pesar de que los organismos eran inmensos comparados con los átomos [8] no había ninguna razón por la cual no obedecieran a leyes físicas exactas. Ahora bien, para Schrodinger el problema que realmente requería una explicación era el de la herencia, y la pregunta específica era: cómo es que los genes, que no son muy grandes comparados con los átomos, resisten las fluctuaciones tan grandes a las que están sujetos? Es decir, ¿cómo explicar la permanencia casi absoluta de las propiedades hereditarias si desde el punto de vista de la física estadística, la estructura del gen tiene un número pequeño de átomos? Schrodinger postulaba que los genes eran capaces de preservar su estructura porque el cromosoma en el que se encontraban era un "cristal aperiódico", idea que como señalábamos probablemente obtuvo de la lectura de Haldane. Esta propuesta meramente especulativa, constituyó para muchos la primera indicación de una posible solución cuantitativa y exacta al problema de los genes, ya que el artículo de Delbruck de 1935

no fué muy leído. En este sentido, Schrodinger hace notar que las mutaciones genéticas son discretas y discontinuas, propiedad que recuerda la teoría cuántica y que lo hace adherirse al modelo cuántico del gen de Delbruck.

Por esos años -40's e inicios de los 50's- el grupo del fago creció en cantidad (de una docena de miembros a unas cuantas de ellas), incorporándose como estudiante de Delbruck Gunther S. Stent, y como estudiante de Luria James D. Watson.

Para concluir podemos señalar que al menos Gunther Stent y Francis H. Crick (del grupo del fago y del grupo estructural respectivamente) dirigieron su mirada hacia la biología después de la lectura del libro de Schrodinger.

2.2.2. El equipo de investigación de la medicina

La primera de las preguntas a resolver en la nueva genética era la naturaleza química del gen, su composición atómica y estructural.

Desde el siglo XIX se pensaba que las proteínas eran la "clave de la vida" debido a su complejidad y versatilidad químicas, y nadie podía creer que los "aburridos" ácidos nucleicos formados por repeticiones de nucleótidos pudieran codificar la información genética de los organismos. De hecho,

prevalecía la hipótesis de la estructura tetranucleótida del DNA, según la cual los cuatro nucleótidos se arreglaban uno tras otro en un orden fijo; así que existía una ignorancia total acerca de cómo lograr suficiente especificidad biológica con una molécula de tales características. Dicha teoría había sido propuesta por P. A. Levene, quien hasta su muerte en 1940 fué considerado como la autoridad mundial en la química del DNA. Este podría ser un claro ejemplo de cómo un paradigma de cientificidad dominante (Kuhn) impide la aceptación de nuevos datos experimentales y se constituye en un obstáculo, pero creemos que el enfoque de Hull también puede dar una explicación que coincida con la de los sociólogos de la ciencia, ya que la investigación de Avery era de tipo médico, de un linaje conceptual muy diferente al del grupo del fago. Su trabajo era llevado a cabo con cepas bacterianas de Pneumococcus, y lo que Avery buscaba era la molécula responsable de la infectividad en algunas de ellas, es decir, su enfoque y su objeto de estudio eran muy distintos a los de quienes trabajaban con el modelo bacteria-fago en el cual se pretendía comprender la replicación viral haciendo abstracción de la maquinaria bioquímica de la bacteria. Ahora bien, tanto Delbruck como Luria conocían bien los resultados parciales de Avery desde 1942, y en 1943 el propio Delbruck había leído una extensa carta dirigida por este a su hermano Roy, que entonces trabajaba en el mismo campus de Vanderbilt. En esa carta Avery describía sus experimentos con la sustancia transformadora y especulaba en torno a su significado.

La sociología de la ciencia ha concluido que los resultados en los que se atribuía un papel genético al DNA no fueron aceptados por quienes podrían haber comprendido su relevancia por

que Avery no pertenecía al grupo del fago ni a ningún otro grupo de genetistas; e incluso su publicación en el Journal of Experimental Medicine fué desafortunada, ya que debido a la particular distribución de esta revista fué poco probable que los genetistas tuvieran acceso a él (Judson, 1987 p.55-56). Una mirada superficial al Apéndice de este trabajo demuestra que esta revista no era una de las usuales para los primeros biólogos moleculares. Asimismo el trabajo de Avery fué mencionado solo muy irregularmente en las reuniones de Cold Spring Harbor en los siguientes diez años.

En realidad la convicción de que el DNA podía ser el material genético se difundió diferencialmente en los distintos grupos de investigación., y es de hacerse notar que uno de los pocos investigadores a los que el trabajo de Avery impresionó desde el principio tanto por sus resultados como por su rigurosidad fué a Erwin Chargaff, de quien hablaremos más tarde.

La interpretación sociológica del infortunio del trabajo de Avery ha sido una y otra vez negada por Delbruck y Luria, quienes han afirmado que la causa por la que no los aceptaron fué porque en esos años eran prácticamente inutilizables. Dice Delbruck que tanto él como Luria habían visitado a Avery dos veranos consecutivos en la Universidad Rockefeller en Nueva York, antes de iniciar los seminarios anuales de Cold Spring Harbor. Según Delbruck los métodos de Avery eran burdos e inciertos, siendo su mayor aportación el haberlos hecho más reproducibles, pero sin eliminar la inseguridad en torno a los resultados finales. El escepticismo provenía, según Delbruck, de la paradoja entre el efecto específico del DNA en la transformación bacteriana, por un

lado, y la creencia de que el DNA era una sustancia "estúpida", un tetranucleótido que no podía hacer nada específico.

Según Luria el que el material genético fuera el DNA o las proteínas daba casi igual para sus hipótesis de trabajo, ya que no permitía comprender ni un poco más el funcionamiento de su modelo genético con fagos (Judson, 1987 p. 58-59).

El factor aducido por Delbruck para explicar la indiferencia ante los resultados (diferente del rechazo completo de los bioquímicos) fue, pues, el hecho de que con las técnicas de aislamiento y purificación químicas que utilizaba Avery y su equipo siempre quedaba la duda de si el DNA no estaría contaminado con pequeñas cantidades de proteínas, las cuales efectuarían la transformación genética de los neumococos. Sin embargo, esto parece un pretexto menor, ya que en realidad la exactitud de los resultados y procedimientos de Avery era notoria. En realidad la entrevista de Judson (1987) con Delbruck realizada en 1972 revela un aspecto importante para llevar a cabo la contextualización del descubrimiento de Avery: la cuestión nodal era la especificidad de la molécula de DNA y, en realidad, también la de las proteínas, ya que si bien se sabía que estas se conformaban con "unos veintitantos aminoácidos", tampoco había claridad respecto a su estructura. Así pues, tanto el DNA como las proteínas podían resultar estructuras repetitivas y nadie podía imaginarse cómo traducir la naturaleza de una molécula en la diversidad de caracteres de un organismo.

Fue hasta que Hotchkiss se agregó al equipo de Avery que,

mediante un trabajo cuidadoso, se estableció en verdad el papel del DNA (Judson, 1987 p. 57).

Sin embargo, es notorio el hecho de que los resultados fueron totalmente aceptados tan solo cuando dos miembros del grupo del fago, Alfred Hershey y Martha Chase, reformularon el enfoque, a pesar de que previamente habían sido notablemente afinados por Hotchkiss, quien había logrado reducir la contaminación de proteínas al 0.02% del preparado de DNA. Posteriormente el mismo Hotchkiss demostró que la transformación bacteriana también ocurría en características como la resistencia a penicilina.

Ahora bien, según Luria el trabajo de Avery era algo que parecía muy diferente de lo que se hacía en el grupo del fago; además su pensamiento se encontraba "bloqueado" por una aversión a la bioquímica y a los bioquímicos. Como consecuencia, no le daban importancia al hecho de que el gen fuera proteína o ácido nucleico. "Lo importante era que el gen tuviera las características que debía de tener [y de ahí la importancia del modelo de Watson y Crick]. Si el grupo del fago no echó mano del DNA como sustancia genética no fué porque Avery fuese un extraño o su descubrimiento prematuro, en algún sentido abstracto, sino porque la evidencia en verdad parecía incongruente. Nada comparable a la transformación bacteriana hacía intervenir el DNA en los millares de experimentos que los investigadores del fago venían realizando" (Judson, 1987 p.61).

En 1944 Avery, MacLeod y McCarty publican las conclusiones de su trabajo sobre transformación de neumococos, en las que por primera vez se atribuye al DNA el papel de transmisor de la información genética. Sin embargo, a pesar de que su investigación constituía un acercamiento original y suficiente al

problema, sus conclusiones no fueron totalmente aceptadas por la comunidad científica relevante, en este caso por el Grupo del Fago y por los bioquímicos tradicionales.

En 1952 dos miembros del grupo del fago, Martha Chase y Alfred Hershey, llegaron a los mismos resultados de Avery mediante su "experimento de la licuadora Waring" utilizando las nuevas técnicas de isótopos radioactivos desarrolladas durante la guerra por investigadores físicos.

Si la "prueba de la fluctuación" es el ejemplo paradigmático de la aplicación de la estadística y del planteamiento puramente matemático de un experimento biológico, el "experimento de la licuadora" representa una de las más prontas aplicaciones de una técnica a la investigación. En este experimento Hershey y Chase infectaron diferentes muestras de *E. coli* con fagos T marcados con ^{32}P (fósforo radioactivo) en su DNA, o con ^{35}S (azufre radioactivo) en sus proteínas; después del lapso de tiempo en el que se considera que ha ocurrido la fijación del fago y la transmisión del agente transformador, la mezcla era agitada en una licuadora para separar a los fagos de las bacterias. Si se medía el porcentaje de ^{32}P y de ^{35}S que era liberado al medio después de la agitación se observaba que la mayor parte del fósforo -localizado en el DNA- había sido absorbido por las bacterias, mientras que en el medio se encontraba disuelto la mayor parte del azufre. Los resultados de este experimento, en completa armonía con los de Avery, MacLeod y MacCarty, constituyeron un importante incentivo para el trabajo de Watson y Crick (Watson, 1968), quienes en ese momento se encontraban trabajando en la determinación de la estructura del DNA.

2.2.3 El Grupo Estructuralista y su Metodología.

G. Stent (1968) divide a los fundadores de la biología molecular en tres escuelas (la tercera de ellas, la "bioquímica" tiene importancia menor), sobre la base de su relación con la mecánica cuántica. De acuerdo a su punto de vista la escuela "informativa", constituida casi exclusivamente por los miembros del Grupo del Fago, fueron los únicos motivados por el posible descubrimiento de nuevas leyes y perspectivas en la biología, análogas al descubrimiento de las leyes de la mecánica cuántica. En su fase "romántica", según Stent, los físicos se vieron guiados por nociones tales como la complementariedad y por trabajos como el de Schrodinger. Por el contrario, la escuela estructural no tenía nexos con la mecánica cuántica sino con una perspectiva física tradicional. En general, esta caracterización de los primeros tiempos de la biología molecular se ha mantenido, tanto en la literatura de divulgación como en la especializada.

Por el contrario, nosotros quisiéramos sostener lo siguiente: 1) estamos de acuerdo con Sarkar en que la llamada "escuela informativa" por Stent, no es tal, ya que la alusión al problema de la información se hace solamente en el trabajo de Schrodinger, y por eso hemos preferido designar al Grupo del Fago como escuela realmente definible en sus conceptos y estrategias, y delimitable en sus miembros, 2) en lo que sigue habremos de demostrar la importancia e influencia real que la mecánica cuántica tuvo para la escuela estructural, sobre todo a través del trabajo de L. Pauling sobre los enlaces químicos, y 3) la diferencia entre el Grupo del Fago y la Escuela Estructural no

sería tanto en sus métodos experimentales ni en la naturaleza de sus explicaciones (ambos de tipo reduccionista), sino en el carácter de sus estrategias de investigación, anti-reduccionista en el caso del Grupo del Fago (irreducible a explicaciones físicas y químicas) y reduccionista en el caso de la Escuela Estructural (con su postulado de que la función biomolecular es explicable en términos de la estructura). Consideremos ahora el desarrollo de esta Escuela Estructural:

Sir Lawrence Bragg y su padre, William Bragg, desarrollaron la técnica de la cristalografía de rayos X en 1912. El principio de su método consiste en un haz de rayos X paralelos que inciden sobre un arreglo cristalino de átomos, y se difracta en un patrón que es característico del peso atómico y del arreglo espacial de dichos átomos. Así, por medio de un cuidadoso análisis del patrón de rayos X desviados hacia una placa fotográfica, un cristalógrafo puede inferir el específico arreglo atómico que produjo dicho patrón. Los Bragg comenzaron inmediatamente a aplicar su método para la dilucidación de moléculas sencillas, como las sales inorgánicas, algunas gemas como el berilo, y silicatos.

En gran medida el desarrollo posterior de la metodología de este grupo de investigación (tal vez para ser más exactos cabría hablar de toda una "tradición"), consistió en el perfeccionamiento y complejización de los instrumentos matemáticos, tales como la Síntesis de Patterson, elaborada por un discípulo de los Bragg, y útil para elaborar "mapas" aproximados de las posiciones atómicas en una molécula.

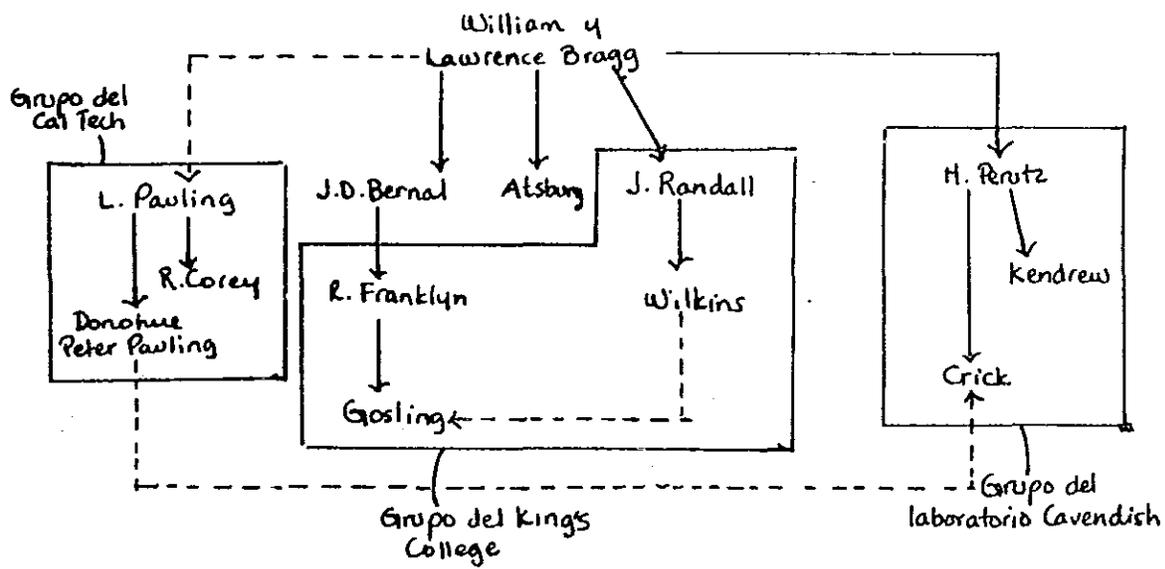
El análisis con rayos X ya había sido utilizado por W. T. Atsbury y J. D. Bernal -discipulos de Bragg- para intentar determinar la configuración de cortas cadenas de aminoácidos. En 1948 Atsbury, contratado entonces por la Universidad de Leeds -en el corazón industrial de Inglaterra- para llevar a cabo estudios cristalográficos de fibras textiles, propuso una estructura para el DNA en la cual los nucleótidos se apilaban paralelamente, aunque su modelo fué descartado por los posteriores datos cristalográficos. Además, al proponer Atsbury su estructura del DNA, esta tuvo poco eco y no fué tomada en serio mas que por unos cuantos cristalógrafos en Estados Unidos y Europa, los cuales retomaron algunas de sus mediciones correctas, especialmente la separación entre nucleótidos de 3.4 amstrongs, que utilizaron Watson y Crick. Por su parte, J. D. Bernal llevó a cabo la primera cristalización de una proteína, lo cual abrió el camino para el analisis cristalográfico de estas biomoléculas. Sin embargo el primer avance importante de la cristalografía de proteínas lo llevó a cabo Linus Pauling hasta 1951, trabajando en la estructura secundaria (conformación o "esqueleto") de estas moléculas.

Ahora bien, la relación entre forma o estructura atómica de una molécula y su función específica en el metabolismo celular, fué un principio general que derivó de este tipo de investigación y que tuvo una gran influencia para la biología. De modo que llegó a tener una gran aceptación y solidez el principio de que una vez conociendo la estructura de una molécula, podría inferirse y comprenderse su función en la célula; dicha idea fué central para definir a la escuela estructural, y su estrategia reduccionista, la cual tuvo su mayor triunfo al momento de

dilucidar la estructura del DNA y comprender, a partir de su conformación específica, el modo como podría ocurrir la replicación genética. En efecto, la estructura complementaria de la doble hélice del DNA parece, por sí misma, explicar la forma en que se lleva a cabo la duplicación a través de las generaciones.

Al momento en que se inicia la cooperación entre Watson y Crick los miembros de la escuela estructural localizados en el Laboratorio Cavendish de Cambridge eran, principalmente, Max Perutz (discípulo de Bragg) y John Kendrew (alumno a su vez de este), quienes trabajaban en la estructura molecular de la hemoglobina y la mioglobina. Crick se anexó al equipo bajo la dirección de Perutz, como estudiante doctoral.

FIGURA 2. LINAJE CIENTIFICO DE LOS INVESTIGADORES DEL ENFOQUE ESTRUCTURALISTA.



2.2.4 La escuela química de Linus Pauling

La mecánica cuántica hizo su entrada a la perspectiva estructural de la biología molecular a través del trabajo desarrollado por Linus Pauling en la química estructural.

En enero de 1926 E. Schrodinger, entonces en la Universidad de Zurich, publicó la primera versión de lo que entonces se llamó "mecánica ondulatoria" e inmediatamente él y muchos otros (W. Heisenberg y M. Born en Gotinga, P. Dirac en Cambridge y N. Bohr en Copenhague) fueron conducidos al trabajo "más intenso, competitivo y fecundo que la ciencia ha visto jamás" (Judson, 1987 p.72). Y precisamente en 1926 Pauling llegó a Europa con una beca Guggenheim, estudiando en Munich, Copenhague y Zurich. Su trabajo, desde entonces, se concentró en la frontera entre la física y la química, en el análisis de la estructura molecular, y su aportación más grande de este periodo (1928) es la idea de resonancia.

En 1922 Linus Pauling, había leído el libro de los Bragg y ese mismo año determinó la estructura de un mineral sencillo, la molibdenita. Estando aún en Europa Pauling intentó entrevistarse con Bragg en Manchester (donde entonces trabajaba), pero no pudo establecer contacto con él. En ese mismo año Bragg había publicado una vaga regla práctica para imaginar estructuras

compatibles con la composición química de una sustancia, a fin de verificarlas mediante rayos X. Mientras tanto, Pauling prosiguió determinando estructuras moleculares usando el método de Bragg y publicando los principios generales de la cristalografía en 1928 (Judson, 1984). En su artículo Pauling establecía los principios de las relaciones entre átomos que dictan las formas estables de una sustancia cristalina, y que aún hoy se conocen como "Reglas de Pauling". Algunos de estos principios eran del saber común y tres de ellos habían sido utilizados explícitamente por Bragg, así que "a Bragg siempre le dolió que Pauling hubiera sido el primero en publicar las reglas, merced a las cuales se aplica la física a la estructura de minerales" (Judson, 1987 p.74), este fué el primer incidente que tuvo como consecuencia posterior una cierta "rivalidad" entre el laboratorio de Bragg en Cambridge y el de Pauling en Pasadena, rivalidad que permearía el intento de Watson y Crick por dilucidar la estructura del DNA antes que Pauling, y que sería un ejemplo privilegiado para ilustrar la noción de "competencia interdémica" de Hull. Como detallaremos adelante, la determinación de la estructura parcial de las proteínas, y los trabajos sobre la naturaleza del enlace químico de Pauling fueron determinantes en el trabajo de Watson y Crick .

En los primeros años de la cristalografía Pauling y sus colaboradores (a los que más que una escuela de investigación se les aplica el concepto de "demo" o grupo de investigación independiente, de acuerdo al modelo de Hull) determinaron la estructura de unas 225 moléculas sencillas, así como datos precisos en torno a longitudes interatómicas y ángulos de enlace

(sumamente útiles para Watson y Crick), trabajo que desembocó en la idea general de que los tamaños y cargas eléctricas de los átomos determinan exactamente su disposición en las moléculas. Este trabajo previo le permitió a Pauling publicar, en 1930, el primer ensayo sobre "La naturaleza del enlace químico", de gran utilidad para una generación de químicos, y especialmente para Watson y Crick, en el cual relacionaba la mecánica cuántica con la química clásica y con los resultados de la cristalografía de rayos X, ensayo que fue corregido y aumentado en los siguientes años. Hacia 1935 Pauling tenía, esencialmente, una comprensión completa de la naturaleza del enlace químico, iónico y covalente, así como una representación gráfica y práctica de los orbitales y suborbitales que entraban en juego al formarse una molécula; ello le condujo a establecer el puente entre la mecánica cuántica y la cristalografía que habría de dilucidar las estructuras de las macromoléculas orgánicas. En 1939 se publica su libro The nature of the chemical bond del que Watson y Crick obtuvieron valores de distancias interatómicas y ángulos de enlace necesarios para su trabajo.

Un aspecto central a destacar del trabajo de Pauling es el de las condiciones materiales en las que se llevó a cabo su trabajo y el de sus colaboradores en torno a la estructura de las moléculas químicas. Dicho trabajo se llevó a cabo en el Cal Tech de Pasadena, en donde la Fundación Rockefeller comenzó a sostener sus investigaciones desde octubre de 1933.

Warren Weaver, entonces director del área de Ciencias Naturales de la Fundación, había quedado impresionado en 1932 por la manera en que Pauling dirigía lo que "esencialmente era un

instituto [en el sentido europeo] de química teórica" (Abir-Am, 1982a). Para entonces Pauling contaba con quince colaboradores, con quienes había estudiado la configuración de numerosas moléculas mediante rayos X y difracción electrónica. Pauling fué convencido por Weaver de que lo avanzado en el campo de la química inorgánica podía lograrse próximamente en la química orgánica y, eventualmente, en las sustancias cristalinas de importancia biológica.

A mediados de 1937, cuando la primera beca de tres años de la Fundación estaba por expirar, Pauling había realizado estudios sobre la susceptibilidad magnética de la sangre, explicando la diferencia entre la sangre venosa y la arterial en términos de la diferente estructura electrónica de la hemoglobina libre y la ligada al oxígeno. Su único otro trabajo de relevancia biológica había sido un artículo publicado con Alfred Mirsky en torno a la desnaturalización proteínica en términos del papel que juegan los enlaces de hidrógeno como estabilizadores estructurales. Fué precisamente este trabajo el que llevó a Pauling al problema de la estructura proteínica. Así pues, solicitó a la Rockefeller financiamiento a largo plazo (5-7 años) por la suma inusual de US\$250,000.00 anuales, suma que -como señalamos antes- llegó a alcanzar el millón de dólares anuales después de la guerra. Con este financiamiento se estableció un nuevo departamento de "Química Bio-orgánica", subordinado a los intereses primordiales de Pauling en la química orgánica, y enfocado al estudio estructural de las proteínas. El proyecto fué aprobado, en parte, porque la Fundación veía en la superioridad inglesa en este campo "una situación infortunada para el país más rico del mundo" (Abir-Am, 1982, 359). Así pues Pauling, junto con Thomas H.

Morgan -director del departamento de biología- se convirtió en uno de los dirigentes más importantes de la política científica en CalTech -donde de hecho pasó a formar parte del Consejo Ejecutivo- y en los propios Estados Unidos durante los próximos veinte años.

Es claro que el apoyo económico al proyecto de Pauling colocó a este en una situación única. Esencialmente Pauling dirigía un cúmulo de recursos integrados en gran escala, tanto en la química estructural como en la química bio-orgánica; y el curso del desarrollo en la determinación de la estructura de las proteínas fué afectado por esta entrada "grandiosa" de Linus Pauling.

En 1937, pues, se inicia la investigación de Pauling en la estructura de aminoácidos. Este sabía que W. T. Atsbury, condiscípulo de J. D. Bernal, trabajaba en la estructura de fibras proteínicas como la queratina, pero sabía que su trabajo no era correcto. En particular una mancha repetida en la queratina cada 5.1 amstrongs no coincidía con los datos de Pauling. También en ese año se integra a su equipo Robert Corey, pero ni con el trabajo conjunto fué posible, entonces, vislumbrar una alternativa correcta al problema .

Doce años después, con el uso de modelos prácticos (palos y bolas que representaban enlaces y nucleos atómicos) desarrollados por el propio Pauling, así como la aplicación de las reglas prácticas de la cristalografía, el equipo de Pauling pudo acercarse de nuevo al problema, para publicar, en 1951, el modelo de la alfa-hélice para la estructura secundaria de las proteínas, creándose así una nueva situación de rivalidad con el equipo de

Bragg, quien en 1950 habia publicado un trabajo en torno al mismo tema que resultó un absoluto fracaso.

El núcleo del modelo de alfa-hélice para la estructura de las proteínas era la idea de que el enlace peptídico era rígido, por lo que la molécula solo podía girar en torno a los carbonos alfa. Además Pauling observó la posibilidad de que se formarían enlaces de hidrógeno desde una parte de la cadena a otra. Ahora bien, lo paradójico es que todas estas ideas se le ocurrieron en un viaje realizado a Inglaterra en 1948, en el que visitó a Bragg y Perutz en Cambridge -a donde se habían mudado desde 1938. Perutz le mostró su trabajo con hemoglobina, que volvía a mostrar la repetición cada 5.1 amstrongs, pero Pauling prefirió no comentar nada en torno a sus ideas, según él debido a que contradecían sus cálculos predictivos de una mancha cada 5.4 amstrongs. Como decíamos, en 1950 Bragg, Perutz y Kendrew reuniendo datos de su propio trabajo y el de Atsbury publicaron un artículo en torno a la estructura de las proteínas que resultó el más grande fracaso de la escuela estructural inglesa. Bragg había dado libre movimiento al enlace peptídico, fracasando por ignorar los desarrollos publicados por Pauling en The nature of the chemical bond y de los propios químicos que lo rodeaban. Esta humillación científica del grupo de Bragg guarda importancia para comprender el apoyo que posteriormente obtuvieron Warson y Crick por parte de Bragg, al darse cuenta este de que trabajaban en un problema y enfoque fructíferos. Asimismo, concuerda con la rigurosa contrastación empírica que en 1951 llevaron a cabo Perutz y Bragg del modelo de alfa-hélice; esta contrastación sirvió -en un sentido popperiano y coincidente con la propuesta de Hull- como primera confirmación empírica independiente del modelo de

Pauling.

Uno de los investigadores del grupo de Pauling, A. Rich, ha señalado, sin embargo, el aspecto secundario que tenía la investigación biológica en el trabajo de Pauling. Este aconsejaba "hacer primero la química, y después examinar las experiencias, si es que las hay, que tengan que ver con la biología" (Abir-Am, 1982a p 360). Si bien su estrategia funcionó bien por un tiempo, y culminó con el descubrimiento de la alfa-hélice en 1951, la interpretación de Pauling de que "la estructura proteínica era el secreto de la vida" se basaba en experimentos con proteínas artificiales la mayor parte de las ocasiones. Así pues, Pauling fue "lento para desarrollar un interés genuino en los problemas biológicos. Para [él] las contribuciones a la biología permanecieron como un subproducto accidental de su interés primario en los resultados químicos [...], negando [hasta 1953] los papeles biológicos de las proteínas y el DNA" (Abir-Am 1982a, 1982b).

Esto podría explicar, en términos generales, el interés solo secundario de Pauling en cuanto a la estructura del DNA, y su aparente apatía en una "competencia" por dilucidarla que, en cambio, era una realidad emocional para Watson y Crick, alimentados como lo estaban por la rivalidad que sentía Bragg por el equipo de Pauling.

2.2.5 En torno a otros grupos de investigación

Hemos mencionado que la caracterización unidimensional de la biología molecular como una "genética molecular" abocada al estudio del DNA no es correcta en el sentido de que no lleva a cabo una reconstrucción histórica lo más completa posible. Dicha caracterización, sin embargo, es útil a nuestro objetivo de llevar a cabo una contrastación con el modelo historiográfico de David Hull.

Ahora bien, entre los defectos de semejante caracterización se encuentra, en primer lugar, el hecho -bastante común- de que se enfatiza (o se "sobresignifica") la presencia de dos grupos de investigación: el del fago y el del Laboratorio Cavendish, por ser en ellos donde se forman Watson y Crick. Por ende, tan solo en segundo lugar se menciona en la literatura histórica de divulgación -cuyo ejemplo máximo es el libro de Watson- al grupo de Avery y al grupo de Pauling. Así que sin pretender abarcar a todos los grupos de investigación relevantes a esta etapa, pero con la intención de aminorar la "parcialidad" de esta reconstrucción, consideramos aquí dos más de ellos por el importante lugar ocupado en el caso que nos ocupa.

2.2.5.1 Los trabajos de Chargaff

Como ya decíamos, la aceptación del trabajo de Avery fué

diferencial de acuerdo al grupo de investigación al que se pertenecía, las fuentes de lectura y los congresos a los que se asistía -así como de la credibilidad que se asignara al trabajo de Avery. En particular los resultados de este trabajo impresionaron profundamente a un miembro destacado de la tradición bioquímica: Erwin Chargaff.

Después de la lectura de Avery, Chargaff abandonó por completo el trabajo que venía realizando y partió "de la convicción de que, si las diferentes especies de DNA exhibían actividades biológicas distintas, debería haber también diferencias químicamente demostrables entre los ácidos desoxirribonucleicos" (citado por Judson, 1987 p. 92).

La técnica que utilizó Chargaff para analizar los ácidos nucleicos fué la cromatografía en papel, la cual tuvo primero que afinar durante dos años, obteniendo sus primeros resultados por 1948 y publicando un artículo en 1950 en la revista Experientia, en el cual resumía los resultados de su investigación. En este artículo demostraba que había muchos DNA diferentes, pues dentro de cada especie la composición de DNA era específica y fija para todos los tipos celulares. Además, la especificidad de la molécula de DNA le sugería a Chargaff que dicha molécula permitía un número gigantesco de combinaciones (mayor que el número de átomos del universo), y la única uniformidad reportada era la después famosa "regla de equivalencia" de purinas y pirimidinas, que reportaba cantidades casi idénticas de adenina y timina (A=T), y de citosina y guanina (C=G).

Según el relato de Watson en La doble hélice, cuando Chargaff visitó a Bragg en Cambridge en 1952 su actitud ante él y Crick fué arrogante y soberbia, disfrutando al avergonzarlos cuando

tuvieron que reconocer que ni siquiera recordaban las fórmulas químicas de los desoxirribonucleótidos. Ahora bien, parece ser que Chargaff es un personaje sumamente interesante de la historia de la biología molecular. Según Judson (1987) es un "soberbio crítico de la ciencia, humano, histórico, informado" (p. 92), que se ha convertido en "el disidente mordaz del estilo de ciencia de Watson y Crick [...]" (p. 94). Dice Chargaff de ellos en una conocida frase: "Que semejantes pigmeos proyecten en nuestros días sombras tan gigantescas, revela tan sólo cuán tarde es ya".

Para otros historiadores Chargaff es el caso que mejor ejemplifica la decepción y crítica aguda de un científico ante las formas actuales de organización del trabajo en la ciencia, y él mismo se ha convertido en un crítico de la historia de la biología molecular centrada en el modelo del DNA, al estilo que ejemplifican J. Cairns y G. Stent en su famosa recopilación Phage and the growth of molecular biology (Cold Spring Harbor Laboratory) (Abir-Am, 1980).

Ahora bien, en cuanto al papel específico que los trabajos de Chargaff jugaron en la determinación de la estructura del DNA es obvio que no podemos exagerar su importancia, si bien en su momento no se le acreditó así. El desarrollo de los métodos y técnicas de análisis químico (labor no exclusiva de Chargaff sino del desarrollo de la química experimental y la bioquímica), así como el interés profundamente marcado de conocimientos de tipo biológico que demostró Chargaff (a diferencia, por ejemplo, del interés secundario que mostraban por los problemas y el conocimiento de la biología Pauling y Atsbury), debieran bastarnos para calibrar, en su contexto histórico, las

investigaciones de este bioquímico.

Chargaff fué quizás el único científico de su tiempo que percibió el rigor científico contenido en el trabajo original de Avery, quedando impresionado por el diseño experimental, la exactitud de las corroboraciones empíricas y la elegancia -al viejo estilo de Avery- de la argumentación. Por otra parte, sus propios experimentos reflejan, desde sus objetivos, la relevancia directamente biológica que guardaban para él: las mediciones de los contenidos de cada nucleótido se efectuaron en diferentes especies biológicas y en distintos tejidos de cada una de ellas.

Hay que mencionar la importancia central que este trabajo tuvo para el de Watson y Crick, ya que no solo les aportó las proporciones en que debían encontrarse purinas y pirimidinas, sino que incluso este dato les sugirió la elaboración de los experimentos de complementariedad efectuados por Griffith (ver siguiente capítulo), que en última instancia demostraron la existencia de una fuerza de atracción entre adenina y timina y entre citosina y guanina, clave -como todo mundo lo sabe- del modelo del DNA.

2.2.5.2 El grupo (sic) del King's College de Londres

En un sentido diferente al de Chargaff, Maurice Wilkins, "supuesto" director del proyecto de cristalografía de ácidos

nucleicos en el King's College, también es un científico decepcionado de la ciencia. En primer lugar -como ya habíamos señalado- su incursión en problemas de tipo biológico ocurrió, de manera casi "clásica" después de haber participado como físico en el "Proyecto Manhattan" que construyó la primera bomba atómica. Después de la guerra Wilkins "sintió el asco moral que afectó a tantos que trabajaron para la bomba" (judson, 1987 p. 96). Asimismo, también por esos años leyó el libro de Schrodinger ¿Qué es la vida? .

Antes de la guerra Wilkins había aprendido un poco de cristalografía con J. D. Bernal, y realizó su beca doctoral con John Randall. Este último lo invitó a participar en 1946 en una nueva unidad de investigación localizada en el King's College de Londres, apoyado por el National Research Council con la finalidad de iniciar trabajos de estructura física relevantes para la biología y la medicina.

Wilkins inició la investigación cristalográfica del DNA un año y medio antes de que Watson llegara a Cavendish. En mayo de 1950 asistió a una reunión de la Faraday Society en Londres, donde Rudolf Signer describió los métodos desarrollados en su laboratorio para extraer DNA de células de timo de ternera. Esta metodología conservaba intacta a la molécula de DNA, y Signer repartió sus muestras entre los asistentes.

Las primeras fotografías de rayos X de DNA del King's College fueron realizadas con estas muestras por Wilkins y Raymond Gosling, un estudiante de doctorado. A pesar de haber utilizado el equipo viejo de rayos X obtuvieron imágenes que representaban una sustancia cristalina. La fotografía que Watson observó en Nápoles y que lo motivó a estudiar la estructura del DNA

pertenecía a este serie.

Wilkins consiguió inmediatamente apoyo económico para comprar un moderno equipo de rayos X inventado y fabricado por colaboradores de J. D. Bernal. El nuevo equipo llegó al King's en el verano de 1950 pero -por razones desconocidas- este no fue puesto en uso seriamente hasta septiembre de 1951, cuando Rosalind Franklyn inició su trabajo.

El aspecto más interesante del grupo -si así se le puede llamar- del King's College es la profunda enemistad surgida entre Wilkins y Franklyn. El asunto no es de ninguna manera superfluo, ya que no solo possibilitó -en términos generales- el éxito de Watson y Crick o el fracaso del King's, sino que la magnitud de la querrela y las versiones dispares que de ella se tienen, así como un cierto sabor a "injusticia" que queda por la falta de reconocimiento al trabajo de Franklyn, sugieren problemas a resolver por la historia y la sociología de la ciencia referentes a la organización del trabajo de investigación.

La versión "tradicional" de la disputa, sostenida tanto por Watson y Crick, como por Wilkins, relata que en esos tiempos Franklyn hacía imposible la colaboración. Según Crick y Wilkins ella era obstinada pero carente de intuición física, por lo que su investigación se enredó en demasiados cálculos matemáticos sin ninguna imaginación estructural. Años después a la determinación de la estructura del DNA, e incluso después de su muerte, tanto Watson como Crick tuvieron "frases amables" para ella, reconociendo su "generosidad" y su "entrega al trabajo" en un medio ambiente masculino tan hostil como el de la ciencia inglesa. Sin embargo tanto ellos como Wilkins jamás han aceptado el papel central que jugó la fotografía de DNA tipo B en la

elaboración del modelo, persistiendo en considerarlo como una corroboración empírica del modelo y no como fuentes de información esencial para su construcción (como queda demostrado incluso en el relato "ingenuo" de Watson).

La versión de Franklyn, defendida por su amigo Aaron Klug, sostiene tanto la dificultad de integrarse al medio científico inglés configurado en torno a sociedades y clubes masculinos, como -más importante aún- la ambigüedad que rodeó a su contratación, efectuada por Randall. Una carta escrita por este es la única prueba de que Franklyn no estaba destinada en un principio a trabajar en el DNA, y que cuando se le asignó esta molécula para su trabajo tenía bastantes razones como para pensar que era ella - y no Wilkins- quien encabezaba un grupo independiente de investigación. En particular, al llegar al King's College en enero de 1951 Randall le asignó no solo el problema del DNA sino las muestras restantes de DNA de Signer y la colaboración de Gosling como su asistente y estudiante. Para aumentar la confusión, en la reunión previa a su llegada en la que Randall la presentó al grupo de King's Wilkins no estuvo presente (al parecer se encontraba paseando con su novia). Dice Gosling: "En la reunión no me cupo duda de que Randall decía que aquí está el problema y aquí un estudiante -porque en aquel tiempo los estudiantes doctorados eran siervos, y a mí me estaban entregando junto con el problema, ni más ni menos- y aquí están las fotografías de rayos X, con montones de manchas, hay que obtener más y resolver la estructura de DNA a partir de la difracción de rayos X" (Judson, 1987, p. 101).

La descripción de Watson de la personalidad pusilánime de Wilkins, incapaz de dirigir su propio laboratorio puede, por lo

tanto, hacerse coincidir con el hecho de que Franklyn se negaba a ser dirigida por él, debido a su convicción de que llevaba a cabo una investigación independiente.

Por otra parte, como en el caso del trabajo de Chargaff, veremos en el siguiente capítulo que las fotografías de rayos X obtenidas por Franklyn fueron determinantes en la aportación de información básica para la construcción del modelo de DNA. De hecho, una de las más grandes ironías del trabajo de Franklyn lo representa una anotación aislada en su cuaderno en la que hace alusión a la fotografía del DNA tipo B como "evidencia de una estructura helicoidal" (Judson, 1987).

NOTAS AL CAPITULO II

[1] De hecho, en el caso de la constitución de esta disciplina ha sido ampliamente documentada, incluso, la relación de poder específicamente establecida entre la física y la biología. Esta ocurrió mediante la transferencia de técnicas de la física a la biología, que implicaba la dirección por parte de los físicos y la cooperación técnica de tipo secundaria por parte de los biólogos (Abir-Am, 1982).

[2] Existen otras tradiciones de historiografía de la ciencia, como la que se denomina "francesa" e incluye los trabajos de Bachelard, Canguilhem y Foucault. En este enfoque, por ejemplo, no sería posible distinguir lógicamente entre lo externo (o ext._científico) y lo interno (la racionalidad propia de la ciencia), ya que se considera que ambas esferas comparten una misma racionalidad. Sin caer en un determinismo economicista de la ciencia, se enfatiza su naturaleza histórica, adecuada a las normas de pensamiento vigentes en una sociedad dada, y dependientes de una lógica que las abarcaría a ambas.

[3] Lo anterior no debe ser interpretado como una adhesión al programa internalista de la historia de la ciencia. Consideramos (quizá en mayor cercanía con la escuela francesa mencionada en la nota anterior) la historicidad de las ideas científicas, y creemos que un enfoque multidimensional que considere una

diversidad de delimitantes históricos es el más adecuado para cualquier acercamiento propiamente científico del problema. Este enfoque seguramente debe incluir lo que la historiografía "anglosajona" considera como "causas externas" y que Hull intenta integrar -al menos algunas de ellas- dentro de las "causas internas". Sin embargo, para que dicho enfoque plural sea fructífero se debe criticar la falta de contenidos y explicaciones concretas frecuentemente disfrazadas bajo el manto de "causas externas" o "estructurales".

[4] "El nuevo sistema de patronato de la ciencia tuvo tres elementos clave: primero la creencia de que era necesario y apropiado para los donantes identificar las disciplinas específicas o especialidades de investigación en las cuales invertir. No existía precedente para un tipo de patronazgo tan intervencionista [...]. El segundo y crucial elemento era el director activo del programa, que sabía lo suficiente de ciencia como para diseñar un programa, seleccionar áreas de concentración y hacer juicios informados sobre los individuos y sus proyectos. De nuevo, había poco precedente en la historia del patronazgo de las ciencias naturales para que los directores adoptaran ese papel tan activo [...]. Finalmente estaba la boca del proyecto, un vehículo de fondos que hizo practicable un estilo de patronazgo programático, activista, y que dió a las becas individuales un propósito institucional más general" (Kohler, R. 1984. p 265).

[5] A favor de una influencia real de la búsqueda por la

complementariedad biológica están G. Stent (1968) y Yoxen (1979). En contra: Cohen (1975), Perutz (1987) y Hershey (citado por Judson, 1987)

[6] El modelo de la doble hélice significó "...una solución de todos los milagros en términos de modelos mecánicos clásicos, que no requirió una abdicación de nuestras expectativas intuitivas usuales..." (Delbruck, 1976 citado por Sarkar, 1989).

[7] El hecho de que la idea de "código genético" haya sido olvidada por las investigaciones del grupo del fago no excluye la influencia inmediata -anterior a 1953- de esta noción en otros grupos diferentes de los que aquí se reseñan en base a la importancia que tuvieron para la determinación del modelo de DNA. Los trabajos de Stern, Caldwell y Hinselwood, por una parte, y de Dounce, por otra, se concentraron en la idea de código genético a finales de la década de los 40's, en lo que para Sarkar (1989) constituye la segunda estrategia de investigación anti-reduccionista de la historia de la biología molecular.

[8] Schrodinger, a diferencia de Delbruck, identifica el volumen crítico o sensible de la mutación con el tamaño del gen, el cual estima aproximadamente en 1000 átomos.

[9] En ocasiones (Stent y Calendar, 1978) se dice que Atsbury fué quien utilizó por primera vez el término "biología molecular", en los años 40's. Sin embargo, hemos señalado que el término aparece en 1938 en el Reporte Anual de la Fundación

Rockefeller. Este Reporte fué elaborado por W. Weaver, quien estableció una estrecha relación con Atsbury. Weaver era considerado por Atsbury como un "padre fundador" de la nueva disciplina, mientras que Weaver demostró su confianza hacia Atsbury haciéndolo consejero de la Fundación por veinte años. Lo mas probable es que a Weaver se le haya ocurrido el término en medio del contexto del Reporte y que Atsbury, por su cercanía con Weaver, lo haya popularizado.

CAPITULO III. LA ESTRUCTURA DE WATSON Y CRICK DEL DNA

3.1 La reunión de antecedentes.

En 1951, J. D. Watson se integró al laboratorio Cavendish dirigido por Sir Lawrence Bragg para aprender cristalografía con el objetivo de comprender la estructura química del material genético. La situación en torno a este problema era la siguiente: a) una gran cantidad de evidencias a favor del DNA como material genético. Lo cual implica, además, una gran sofisticación en el desarrollo técnico y manipulativo de la bioquímica. La técnica, como ciencia aplicada es una de las condiciones fundamentales del desarrollo científico que los modelos historiográficos de la ciencia difícilmente toman en cuenta; b) un enorme desarrollo de la cristalografía de rayos X, que había posibilitado, por ejemplo, que Max Perutz y John Kendrew se encontraran trabajando (también en Cavendish) en la estructura de una proteína tan compleja como la hemoglobina, y que muy especialmente había hecho posible que Linus Pauling, en Cal Tech, determinara parcialmente la estructura de las proteínas mediante sus modelos de la α -hélice y de beta-plegada, lo cual -como veremos- fue condición importante del trabajo de Watson y Crick; c) un gran avance en la

química orgánica y analítica, mediante lo cual se había descrito la composición química del DNA con exactitud e incluso Chargaff había medido ya las proporciones totales de purinas y pirimidinas; y d) estrechamente relacionado a las dos condiciones anteriores se encontraban ya puestos los fundamentos modernos de la físico-química y la determinación muy detallada de la estructura de moléculas sencillas, así como de la naturaleza del enlace químico en base a la mecánica cuántica; este trabajo fue prácticamente desarrollado en su totalidad por L. Pauling y sus colaboradores.

3.1.1 Formación Científica de Watson y de Crick

Quizás el único biólogo capaz de cuestionar la noción de que el material genético forzosamente debía estar constituido por proteínas era Hermann Muller, genetista clásico que, a pesar de trabajar con Drosophila melanogaster, conocía bastante la genética de los microorganismos. Muller estaba convencido, desde 1921, de que el ciclo de vida del bacteriófago en la bacteria (que Delbruck y Ellis corroboraron en 1939) expresaba la función genética de las partículas infecciosas tal y como lo había propuesto D'Herelle, y no la acción de una enzima bacteriana, así que veía a la bacteriología como un camino alternativo para abordar el problema genético. Muller era profesor de genética en la Universidad de Indiana cuando Watson llegó a hacer trabajo

experimental como graduado en 1947-48.

James D. Watson, a su vez, se había interesado desde 1948 por la genética a raíz de la lectura del libro de Schrodinger, ya que su campo original de estudio era la ornitología. Una vez convencido de la importancia de la genética en la biología moderna se vió atraído a la Universidad de Indiana precisamente por la presencia de Muller, si bien después de un primer curso de genética tomado con Salvador Luria decidió realizar su trabajo de investigación doctoral con él.

Según Luria, Watson "era un tipo muy notable. Aún más raro entonces que después. Tremendamente inteligente, con esa mezcla de seguridad en si mismo y de incertidumbre también sobre él mismo que tantas veces tienen los chicos listos [...] lo principal que hicimos por él fué darle un ambiente grato para trabajar" (Judson, 1987 p.63). Curiosamente Luria compara a Watson con Muller, en el sentido de que "siempre tiene un aire de confusión". Pero hay una cualidad de Watson que seguramente le fué de mucha utilidad al trabajar con Crick: es sumamente sistemático "para las cosas que importan [...], si algo no vale la pena de hacerse, tampoco vale la pena de hacerse bien" (Judson, 1987 p. 63).

Un aspecto que determinó la elección de Watson por el trabajo con Luria fué saber que este era amigo de Delbruck, cuyo trabajo era fundamental para comprender las ideas de Schrodinger que tanto lo habian motivado y que, de hecho, realizaban cierta investigación conjunta. En 1948 Watson conoció por mediación de Luria a Delbruck cuando este se dirigía a su nuevo trabajo en Caltech , y en ese mismo año asistió por primera vez a la

temporada de verano en la estación científica de Cold Spring Harbor. En ese entonces el director del Laboratorio era Milislav Demerec (quien ocupó el cargo de 1941 a 1960), un genetista de Drosophila y del maíz que, sin embargo, se había interesado por el trabajo de Delbruck.

Dentro de las actividades en que se participaba en este laboratorio estaba el curso anual sobre fagos que impartía Delbruck a un nivel comprensible para los científicos de otras áreas; según Aaron Novick, uno de los asistentes, se trataba de "una biología hecha cómoda para gente preparada en las ciencias físicas" (Judson, 1987 p. 65). Además, se organizaba el Simposio de Biología Cuantitativa iniciado en 1933 al cual asistían numerosos científicos reconocidos, y se hacían reuniones informales entre los integrantes del grupo del fago. La dinámica abierta y comunicativa, fomentada por Delbruck -como vimos- le daba un aire familiar al grupo del fago, que se asemeja al paternalismo y familiaridad desarrollados en el grupo de Monod del Instituto Pasteur en Francia (Abir-Am 1982b).

Entre 1948 y 1949 Watson tomó un curso sobre proteínas y ácidos nucleicos con Félix Haurowitz -quien había introducido años atrás a Perutz al estudio de la hemoglobina- en Bloomington, Indiana, en el que este afirmaba que las proteínas eran tan complejas que solo ellas mismas podrían organizar su construcción. Haurowitz trazaba un esquema según el cual un gen proteínico tendido sobre una porción de DNA del cromosoma, recogía aminoácidos y apareaba a cada uno con su igual, formando entonces una cadena peptídica idéntica.

Durante el verano de 1949 la reunión del grupo del fago se realizó en Pasadena, donde Watson y sus mentores comenzaron a

discutir a dónde enviarlo una vez que obtuviera el doctorado.

Hacia 1950 Watson había terminado su investigación con fagos para obtener el doctorado; este trabajo consistía en una variación de la investigación que por entonces llevaba a cabo Luria. Se trataba de exponer los virus a los efectos de la luz ultravioleta y los rayos X, y de observar entonces su ausencia de infectividad, manifiesta por la ausencia de placas bacterianas; sin embargo, si los virus se añadían en suficiente cantidad al cultivo como para que cada bacteria fuera infectada por varios de ellos, se observaba un número pequeño de placas. El efecto fué llamado por Luria "reactivación por multiplicidad", e interpretado en el sentido de que la sustancia genética del fago consistía en fragmentos distintos, que dentro de la bacteria se separaban, se multiplicaban independientemente y se mezclaban. De esta manera los fagos dañados conseguían a veces suplir mutuamente sus deficiencias dentro de una bacteria, produciendo una poca descendencia normal. Sin embargo, esta versión de Luria -y de la investigación de Watson- del sistema hereditario como un "depósito de genes" resultó un callejón sin salida, al demostrarse que los mecanismos genéticos del desarrollo del fago eran mucho más complicados.

Después de otro verano en Cold Spring Harbor en el cual se presentaron -entre otros- los datos obtenidos por Hotchkiss, que aportaban de nuevo evidencia sobre el papel del DNA como material genético, así como las micrografías electrónicas de Anderson mostrando la liberación de DNA de fagos inactivados por choque osmótico, Watson partió hacia Copenhague en compañía de Gunther Stent (discípulo de Delbruck) para realizar trabajo post-doctoral

con Herman Kalckar. Este era un bioquímico que se dedicaba a los ácidos nucleicos que, a estas alturas, eran ya considerados seriamente como el posible material genético; además Kalckar había tomado alguna vez el curso de Delbruck sobre fagos y esto lo hacía "confiable" a ojos de S. Luria. Este último ayudó a Watson a conseguir la beca Merck a través de la National Science Foundation, con la cual partió a Dinamarca.

Ya es lugar común la narración autobiográfica de Watson (1968) respecto a su improductiva estancia en Copenhague, debida tanto al desinterés de éste por los métodos y objetos de estudio de Kalckar, tradicionalmente bioquímicos, como a los problemas personales de éste, y quizá fué precisamente esta situación de ambigüedad la que llevó a Watson a la estación zoológica de Nápoles la primavera de 1951, en donde por primera vez vió una fotografía de rayos X del DNA, presentada en el Simposio de Macromoléculas por Maurice Wilkins del King's College de Londres. En ese entonces Watson no sabía nada de teoría cristalográfica, pero la fotografía, si bien no tenía la calidad que posteriormente habrían de alcanzar las producidas por Rosalind Franklyn, por lo menos le dejaba claro el hecho de que el ácido desoxirribonucleico tenía una estructura regular que podía ser interpretada por métodos cristalográficos.

De regreso a Copenhague Watson oyó de la conferencia en que Linus Pauling habló por primera vez de la estructura de alfa-hélice y de beta-plegada de las proteínas, leyendo posteriormente los 8 artículos publicados junto con Robert Corey en los Proceedings of the National Academy of Science, USA de los cuales se dió una idea general acorde con el conocimiento de química

estructural que tenía en aquella época. Dice Watson: "...Linus debía estar en lo cierto. Si así era, había realizado una hazaña de extraordinaria significación. Sería la primera persona en proponer algo solidamente correcto sobre la estructura de una macromolécula de gran importancia en biología" (1968-1981 p. 45-46).

Así pues, tanto la fotografía de Wilkins como los artículos de Pauling y Corey convencieron a Watson de que tenía que aprender técnicas de cristalografía de rayos X. Luria, quien conocía a Max Perutz pudo hablar por esos días con John Kendrew, quien se encontraba en Ann Arbor, Michigan, consiguiendo que en el otoño de 1951 Watson se incorporara al Laboratorio Cavendish de Cambridge con ese objetivo y con la claridad suficiente como para reconocer la importancia genética del DNA, esperando asimismo la renovación de la Comisión de Becas de de la National Science Foundation.

A diferencia del enfoque funcional que caracterizaba al grupo del fago, Francis Crick se encontraba trabajando entonces en el laboratorio Cavendish, donde se aplicaba un enfoque estructural al estudio de las moléculas biológicas. Crick tuvo (y ha tenido) una formación en gran parte autodidacta. Había estudiado física en el University College de Londres y cuando estaba a punto de concluir el doctorado, el inicio de la guerra lo condujo al Almirantazgo Británico en donde desarrolló investigación bélica hasta 1947. A partir de ese año Crick abandonó en gran parte la física y comenzó a estudiar la bibliografía biológica. Entre las causas que parecieron motivarle a dar este giro estaban tanto su

ateísmo y su deseo de refutación de los últimos resquicios del vitalismo, como la influencia que ejerció sobre él -como para Watson y G. Stent- la lectura del libro de Schrodinger, Qué es la Vida? Este libro le sugirió que los problemas biológicos podían ser planteados claramente, en términos físicos, y que existían numerosos problemas nuevos a resolver en este campo (Judson, 1987 p 107).

En 1947 le fué otorgada una beca gubernamental proveniente del Medical Research Council para trabajar en lo que él mismo definió como "... la física química de la biología, lo cual podría ser una definición de la biología molecular" (Judson, 1987).

Primero fué rechazado para trabajar con J. D. Bernal en sus estudios de cristalografía de macromoléculas orgánicas, luego realizó una investigación sin importancia en biología celular, y el 1949 se integró al Laboratorio Cavendish de Cambridge bajo la tutoría de Max Perutz.

El interés de Crick por las hélices se puede rastrear al año 1951, en que el descubrimiento de Pauling de la alfa-hélice causó un gran disgusto en el Laboratorio Cavendish. Inmediatamente Perutz había puesto a prueba el modelo, tan solo para aportar poco después la primera demostración empírica independiente de la existencia de la alfa-hélice en diferentes proteínas fibrosas y en segmentos de la hemoglobina. En esta época Crick carecía de una formación suficiente en química, por lo que no podía comprender el error cometido por Bragg, Perutz y Kendrew en su acercamiento previo a la estructura de las proteínas;. sin embargo, "empezo a especular con las matemáticas requeridas para predecir, a partir de un modelo helicoidal dado, cuál debería ser su imagen de difracción de rayos X. "Para cuando conoció a

Watson, o poco después, Crick estaba metido a fondo en la geometría proyectiva de las hélices" (Judson, 1987 p.88).

Las lecturas de Crick sobre genética le habían dejado claro que el problema mas importante a resolver era el de la relación entre la estructura del gen y la de las proteínas, no el de la estructura proteínica en general, si bien aún no tenía claro que los genes consistieran de DNA puro, y que este podría resolverse en términos estructurales, es decir, conociendo la estructura molecular, estereoquímica de estos. Para Crick, entonces, había dos problemas fundamentales a resolver: el de la autorreplicación de los genes y el de la colinealidad del material genético y de la sucesión de aminoácidos en las proteínas; además, estaba convencido de que la genética era la clave para comprender la naturaleza de los procesos vivientes, y de que el enfoque estructural en la genética había de resolver estas interrogantes funcionales (Judson, p108).

Así pues, a partir de octubre de 1951, en que Watson y Crick se conocieron, se estableció una relación personal y profesional de gran complementariedad. Como ha dicho Watson en "La doble hélice": "Era una verdadera suerte encontrar en el laboratorio de Max a alguien que supiese que el DNA era mas importante que las proteínas " (Watson, 1968-1981 p. 55).

3.2 Las conjeturas y el rigor en la construcción de un modelo

La colaboración y la tan mencionada complementariedad en el trabajo de Watson y Crick se llevó a cabo no solo en la esfera intelectual, sino en la personal. Se considera, en general, que ello jugó un papel importante en la construcción del modelo del DNA y, a continuación, analizamos en qué consistía dicha "complementariedad":

Watson disponía de un detallado conocimiento de la función genética, algo realmente escaso en Cambridge por esos años. En efecto, la impresionante concentración de científicos preparados en física y química que en ese momento se encontraban ahí, y que probaron ser de enorme utilidad inmediata para el trabajo de Watson y Crick, contrastaba con la casi inexistencia de la investigación genética [1] (Watson, 1987). Al mismo tiempo Watson era la única persona en Cambridge que vivía exclusivamente para entender cómo funcionaba el DNA como material genético, y que tenía experiencia práctica en la utilización de virus bacterianos, lo cual permitía acercarse al fenómeno de la autorreplicación de los genes. A favor de Watson estaba, también, su insistencia en la importancia genética del DNA y su intuición acerca de la relevancia que la teoría y la técnica cristalográfica podían tener para el problema. Asimismo, su desconocimiento de la cristalografía de rayos X pudo suplirse bastante bien con el conocimiento que Crick tenía.

Ahora bien, esto no debe llevarnos a pensar que Watson desconocía por completo el asunto al momento de proponerse el modelo de la doble hélice, ya que durante su estancia en el Cavendish había sido introducido a la teoría de la difracción y las transformaciones de Fourier por el propio Crick. Como

veremos, su experiencia en el análisis cristalográfico de la cápside con arreglo helicoidal del VMT le permitió posteriormente reconocer de inmediato la presencia de una hélice en las fotografías de Franklyn.

Por otra parte, dentro del grupo de los cristalógrafos nadie conocía a profundidad la literatura biológica como Crick, y nadie se encontraba tan interesado en las cuestiones elementales de la vida como él. Dice Crick: "Cuando conocí a Jim fué notable, por que los dos teníamos el mismo punto de vista, solo que él sabía todo lo del fago, sobre el que yo nada más había leído en libros, en tanto que yo sabía todo lo de la difracción de rayos X, que él conocía nada más de segunda mano. Fué significativo dar con alguien (...) casi diría uno que fué la primera persona del mundo exterior que yo, muchacho nuevo, encontraba que podía reforzar mi sentido propio de lo que era importante" (Judson, p.110).

A esta complementariedad en las formaciones intelectuales de cada uno debe agregarse un hecho frecuentemente mencionado en los modelos historiográficos de la ciencia (Kunh, Hull...): el que Watson y Crick, si bien eran representativos de la escuela funcional y estructural, respectivamente, pertenecían a una "segunda generación" de investigadores; eran jóvenes y, por lo tanto, su formación seguía en proceso. Ni Watson ni Crick se encontraban en el "centro" de sus respectivas tradiciones como, por ejemplo, lo estuvieron Pauling y Delbruck cuando convivieron en el CalTech sin llevar a cabo ninguna colaboración, exceptuando la firma conjunta de un artículo [2].

En el aspecto meramente personal y emotivo también se ha citado

la complementariedad de caracteres. Crick había sido, hasta cierto punto, un "problema" en el Cavendish, ya que no había encontrado un tema lo suficientemente interesante como para profundizar en él, y se dedicaba a criticar (ahora diríamos a "deconstruir") el trabajo de los demás. La llegada de Watson agradó especialmente a Bragg, debido a su entusiasmo y a su efecto sobre Crick, ya que ambos se complementaban de manera "múltiple y energizante" (Judson, p. 109). Watson fue un catalizador del trabajo de Crick "porque es muy imaginativo y tiene ideas luminosas" (Judson, p.110). Además, ambos tenían una mentalidad pragmática que les permitió hacer a un lado los escrúpulos para dedicarse a algo que no les estaba oficialmente asignado. En efecto, al momento en que Watson llega a trabajar a Cavendish -supuestamente en la estructura de la mioglobina bajo la dirección de J. Kendrew- él y Crick forman un equipo "no oficial" interesado en el DNA. Esta molécula estaba "asignada moralmente" para la investigación que se realizaba en el laboratorio "hermano" del Medical Research Council en el King's College; además, Wilkins (del King's) era amigo de Crick desde la época del Almirantazgo y, así, no es de extrañar que a este "le cayó como bomba" (Judson, 1987) el saber que Watson y Crick comenzaron a trabajar en el DNA.

3.2.1 El primer intento (o la importancia de los supuestos)

La curiosidad por las hélices, despertada por el trabajo de Pauling en torno a la alfa-hélice, lleva por esos meses de 1951 a Crick, junto con William Cochran (también del Cavendish) a desarrollar una primera "teoría cristalográfica helicoidal", lo cual representa no sólo un triunfo personal, sino la adquisición de un conocimiento teórico general acerca de las estructuras helicoidales, que evidentemente, le iba a ser de gran utilidad en el futuro próximo. Esta teoría desarrollaba las matemáticas necesarias para predecir qué pauta de difracción de rayos X sería producida por modelos helicoidales de cualquier estructura y dimensiones dadas. Con esta fórmula Cochran y Crick elaboraron una segunda contrastación independiente (ahora más teórica que la de Perutz) del modelo de alfa-hélice de Pauling. Asimismo la teoría fué de gran utilidad posteriormente para comprender las fotografías de Franklyn; irónicamente Alexander Stokes del King's College también la desarrolló de manera independiente pero no la juzgó importante, por lo que nunca publicó sus resultados, y si bien los compartió con Wilkins, no se los comunicó a Franklyn. Hacia 1952, Crick desarrollará una segunda teoría cristalográfica referente a las hélices trenzadas o "hélices de hélices". Es decir, Crick se constituye en uno de los principales teóricos en cristalografía, y todo este conocimiento riguroso y previo permite hacerse una idea de la serie de condiciones -que no solo datos - que posibilitaron el planteamiento del primer y el segundo modelo de Watson y Crick.

En ese momento la beca otorgada a Watson a través del National Research Council es denegada en su renovación, debido a su escasa -ciertamente- preparación en cristalografía de rayos X. Para

ayudarle a conseguir la renovación se preparó un engaño con la ayuda de Luria, Perutz, Bragg y Roy Markham (jefe del laboratorio biológico de Cambridge), en el cual se decía que Watson en realidad iba a trabajar con virus como el del mosaico del tabaco, que contienen RNA, no DNA. Lo anterior sirve, simplemente, para apuntalar la crítica a una noción determininista del papel del financiamiento en el desarrollo del conocimiento científico.

Por otra parte, Watson se veía cada vez mas necesitado de estudiar los principios de la cristalografía y de la química, lo cual realizaba principalmente a través de la guía de Crick y el libro de Pauling The Nature of the Chemical Bond, respectivamente. Pero existen otras condiciones de tipo teórico, empírico e incluso vivencial en el camino formativo de ambos que nos conducen al momento en que formularon su primer modelo de la estructura del DNA:

En primer lugar tenemos la asistencia de Watson al Coloquio del 21 de noviembre de 1951 en el King's College, en el cual Franklyn informaba lo que sabía, con toda seguridad, acerca del DNA, es decir, el hecho de que sus fibras daban dos tipos distintos de diagrama de rayos X. Franklyn afirmaba que al humedecer las fibras más de lo que lo había hecho Wilkins en 1949-50, estas se estiraban un poco y producían un nuevo tipo de pauta, era "un cambio completo de imagen hacia algo mucho más sencillo" (Franklyn, 1951, citado por Judson p. 117). El hecho mismo de que el DNA se presentara en dos formas era ya una sorpresa para todos los presentes. Las primeras fotografías del

estado húmedo o forma paracristalina, parecían una promesa ambigua debido a esta simplicidad con respecto a las fotografías del estado cristalino; sin embargo Franklyn parecía concentrar su análisis aún en estas últimas, y cuando Wilkins y Stokes (el único preparado como Crick para analizar estructuras helicoidales) le señalaron que la forma paracristalina parecía sugerir la presencia de una hélice ella no quiso atender -por lo menos en público- el consejo.

Ahora sabemos, por la defensa que ha efectuado de ella su amigo Aaron Klug, que en privado Franklyn sí desarrolló la posibilidad de que la estructura del DNA fuera helicoidal: entre sus evidencias se encontraban no solo la fotografía de la forma paracristalina, sino el argumento de la estabilidad de la molécula, y la mancha repetida cada 27 amstrongs (igual a la de Atsbury) que debía indicar la longitud de cada vuelta de la espiral (Judson, p. 117). Franklyn desconocía la formulación matemática helicoidal de Crick y Cochran, así como los trabajos desarrollados por el propio Stokes en el King's. Asimismo, se equivocaba en su proposición de que los enlaces que unirían las varias cadenas en cada unidad helicoidal serían las ligaduras entre los grupos ácidos de fosfato, descartando a los enlaces de hidrógeno (Judson, p.118). En ese coloquio Franklyn también proporcionó el dato correcto del contenido de agua de la molécula: ocho moléculas de agua por nucleótido en el estado cristalino. Watson, sin embargo, comprendió mal: según él había ocho moléculas de agua por cada unidad estructural del cristal mismo, lo cual daría un valor menor de agua y mayor de densidad. Los datos de Franklyn también sugerían que -en esta etapa- la fibra estaba construida de unidades cilíndricas que contendrían

2, 3 ó 4 cadenas coaxiales por unidad helicoidal y con los fosfatos hacia el exterior.

Ahora bien, desde esta presentación de resultados Franklyn señalaba que el DNA era un "cristal monoclinico de simetría perpendicular y centrado en las caras", lo cual si bien es posible que no lo comprendiera ni memorizara Watson, era cosa sabida y comentada por Wilkins, quien en sus charlas con Crick seguramente lo mencionó; este dato estrictamente cristalográfico tuvo una importancia crucial para la posterior construcción del modelo de doble hélice, si bien en el primer modelo propuesto por Watson y Crick una semana después del Coloquio no fué considerado aún. Lo que definitivamente no hizo Franklyn fué derivar las consecuencias estructurales que se seguían de ello: en particular la probabilidad de que cada unidad cristalográfica tuviera dos y no tres cadenas.

Con la información imprecisa obtenida en el Coloquio del King's inmediatamente después Watson y Crick se dispusieron a elaborar el primer modelo del DNA. Entre los antecedentes de la estructura del DNA comenzaron por considerar el trabajo de Atsbury (1947), en el que proponía una estructura en la que los nucleótidos se apilaban uno sobre otro con intervalos de 3.4 amstrongs entre ellos, además de que existía la gran repetición estructural cada 27 amstrongs. Según Atsbury los azúcares de los nucleótidos se encontraban dispuestos paralelamente a las bases planas, y asimismo proporcionaba un valor elevado para la densidad de la molécula (equivalente a un bajo contenido de agua). Este modelo de Atsbury, sin embargo, en realidad significaba un paso atrás en la comprensión del papel del DNA,

pues representaba a esta molécula como algo monótono sin posibilidad de ejercer una función genética.

Ahora bien, el modelo de Atsbury no era el único desarrollado antes del trabajo de Watson y Crick. En 1949 Sven Furberg, del grupo de J. D. Bernal en el Birkberck College de Londres, había obtenido ya la configuración tridimensional del nucleótido individual, que consideraba que el azúcar se encontraba situado perpendicularmente a la base, corrigiendo así el error de Atsbury de situarlos paralelamente. Asimismo, construyó un modelo del DNA de una sola cadena en la que los nucleótidos se separaban entre sí cada 3.4 amstronngs y formaban una hélice con repeticiones cada 27 amstrongs (Judson, p. 112-113). Estos resultados de Furberg aparecieron paulatinamente en los siguientes tres años (hasta 1952) y eran bien conocidos por Randall y el grupo del King's College. El modelo de una sóla hélice de Furberg -que contradecía los valores conocidos para la densidad de la molécula- apareció sólo a fines de 1952, a tiempo para ser citado por Watson y Crick en su trabajo final de 1953.

Con el dato de la densidad y las dimensiones de la molécula podría obtenerse el número de cadenas de nucleótidos que tendría el DNA, sin embargo los datos obtenidos del artículo de Atsbury también eran erróneos y las fotografías no eran adecuadas. Para esto las fotografías de Wilkins y Gosling, y más aún las de Franklyn, eran más adecuadas, pero no se encontraban al alcance de Watson y Crick. Sin embargo, en las fotografías que en este momento tenía Franklyn las dimensiones de la forma paracristalina

eran ambiguas, y debido a alta la humedad de esta forma resultaba difícil obtener tanto el contenido de agua como el de sal. Como decíamos arriba, si Franklyn hubiera atendido a la descripción estricta del cristal, por razones de simetría lo más probable era que la unidad tuviera dos cadenas, pero ello estaba fuera del alcance de Watson y Crick, quienes en este momento optaron por considerar un modelo de tres cadenas.

Para avanzar tuvieron que adoptar varios supuestos más. El más importante concernía al hecho de que la repetición cristalina no coincidía con la repetición de unidades químicas en la cadena, sino que ocurría a intervalos más grandes. La distancia entre un fosfato y el otro no podía ser mayor de 7 amstrongs, sin embargo la repetición cristalográfica ocurría a 28 ó 34 amstrongs. Una explicación posible era que todos los enlaces de la cadena eran iguales, pero los rayos X estaban dejando ver cada décimo enlace desde el mismo ángulo, y los otros desde diferentes ángulos; el tipo de cadena capaz de producir esto era, de nuevo, una hélice. La distancia entre repeticiones cristalográficas correspondería, entonces, a la distancia en la cadena entre una vuelta de la hélice y la siguiente (Crick, 1991 p 86) -interpretación coincidente con las notas personales de Franklyn.

Ahora bien, un segundo supuesto partía del hecho de que el DNA de diferentes especies parecía dar patrones idénticos de DNA, a pesar de que la cantidad presente de cada nucleótido variaba. Ello les condujo a la consideración -cierta- de que el carácter regular de la molécula era independiente del orden de los nucleótidos, así como a la idea -esta si errónea- de que entonces estos nucleótidos no tenían nada que ver con el mantenimiento de

la estructura (Crick, 1991 p. 85).

Además de los problemas estructurales y cristalográficos, se encontraba el problema bioquímico: ni Watson ni Crick conocían - al principio- el trabajo de Chargaff y ni siquiera el trabajo que realizaba Alexander Todd a unos metros de distancia del Laboratorio Cavendish, en la unidad de química orgánica de Cambridge. Hasta un año después de la llegada de Watson, en que Todd publicó la química de las ligaduras de los ácidos nucleicos Watson y Crick no pudieron comprender cómo se encontraba ensamblado el "esqueleto" de la molécula: el tercer carbono del azúcar cíclico desoxirribosa se unía al fosfato y este, a su vez, se unía al quinto carbono del siguiente azúcar, y así sucesivamente sin ramificaciones.

Debido a las limitaciones que imponía la función de la molécula y la variabilidad de los nucleótidos, Crick intentó, con los resultados de Todd, considerar tan sólo el esqueleto de fosfato y azúcar, imitando la manera en que Pauling, al desarrollar el modelo de la alfa-hélice, había considerado tan solo el esqueleto polipeptídico sin hacer caso de los grupos laterales. La cadena de fosfatos y azúcares permitía una translación acompañada de una rotación, lo cual significaba una estructura helicoidal (Judson, 1987 p. 112). Como en el caso de las proteínas, la hélice era una vez más una estructura considerada debido a su estabilidad (argumento, como vimos, también usado por Franklyn) asociada a los genes, cualidad ampliamente discutida por Watson y Crick sobre la base de los trabajos de Delbruck, Schrodinger y el grupo del fago. Sin embargo, a diferencia del modelo de Pauling de la alfa-hélice,

no se consideraba la posibilidad de que la estabilidad se mantuviera por enlaces de hidrógeno, debido a que los candidatos más serios para formarlos eran las bases. Al supuesto de que la variabilidad de las bases debía ser independiente de la regularidad de la molécula, se añadía otro "prejuicio" para no considerarlas a estas en la formación de enlaces de hidrógeno: la noción de que estas moléculas alternaban de una forma tautómera a otra (de enólica a cetónica), y la representación común en los libros de la timina y la guanina en su forma enólica, en la cual Crick no podía ver cómo se formarían dichos enlaces. Esta consideración tendría importancia central al momento de desarrollar, posteriormente, el modelo de la doble hélice.

El primer modelo del DNA propuesto por Watson y Crick adoptaba, pues, el supuesto de la variabilidad de los nucleótidos y la independencia de este hecho con respecto a la regularidad de la molécula que los indujo a situar -equivocadamente- a las bases en el exterior de la molécula, sin ningún papel en el mantenimiento de la estructura. Además, la consideración errónea del contenido de agua de la molécula los condujo -a finales de 1951- a la elaboración de un modelo de tres cadenas con el esqueleto de fosfato-azúcar en el centro, el cual resultó un completo fracaso al ser contrastado con los elementos empíricos y sujeto a la crítica del resto de los cristalógrafos y químicos del Cavendish, así como de Franklyn, Wilkins y Gosling. Al aportarse el dato más exacto del contenido de agua de Franklyn, los datos podían ser compatibles con un número mayor de modelos, y no solo con el que habían construido Watson y Crick.

El mismo Wilkins, en el escaso trabajo desarrollado por esos

meses, había llegado también a la conclusión, junto con el teórico Alexander Stokes, de que la estructura representada por sus fotografías podía ser helicoidal. Ya vimos que, debido a su enemistad con Franklyn, esta no se encontraba dispuesta a colaborar con él cuando se le sugirió la posibilidad en el Coloquio del King's, pero además por esos días había solicitado a Wilkins que se alejara de toda investigación con el DNA.

Una particularidad importante del trabajo de Watson y Crick desde la construcción de este primer modelo es que ambos consideraban factible conocer la estructura del DNA por medio de la construcción de modelos a escala basados en los patrones de difracción de rayos X de Wilkins y de Franklyn, así como de los datos exactos de la distancia entre átomos, de los ángulos de enlace y los tamaños atómicos, disponibles estos en la literatura y, especialmente, en los trabajos del grupo de Pauling. Para Watson (1968) en ese momento era más un problema de "sentido común" que de complejos cálculos matemáticos.

Después de este primer intento Randall (director del King's) habló con Bragg, y este le prometió que Watson y Crick dejarían el DNA; los modelos a escala que habían usado pasaron a ser propiedad de Wilkins quien, a pesar del apremio de Crick, no hizo nada con ellos en los próximos 15 meses.

Así pues, Crick volvió a su trabajo en torno a ciertas inconsistencias de la alfa-hélice de Pauling y los datos experimentales, determinando que la mancha observada cada 5.1 amstrongs era un retorcimiento superpuesto a la hélice, más extenso y más gradual. es decir, una "hélice de la hélice", lo

cual lo condujo al desarrollo de la segunda teoría cristalográfica o de "hélices trenzadas". Por su parte Watson se dedicó a hacer sus primeros estudios cristalográficos con el virus del mosaico del tabaco en el Instituto Molteno con Roy Markham. Así que si bien aparentemente se desligaron del DNA, sus respectivas investigaciones, así como las conversaciones sostenidas con otros científicos en Cambridge, sirvieron de fundamento al desarrollo posterior del modelo de doble hélice.

3.2.2 La construcción del modelo de doble hélice

En la primavera de 1952 Watson recibe, proveniente de los Estados Unidos, la carta de Hershey en la que le narra los resultados obtenidos por él y por Chase en el experimento de la licuadora Waring, sugeridos a su vez por las micrografías de Anderson que mostraban a las cápsidas proteínicas de los virus vacías después de expulsar el DNA. Watson presenta estos resultados en Oxford, donde los únicos interesados fueron los miembros del Instituto Pasteur presentes.

El 10 de mayo el mismo Watson asiste a la reunión de la Royal Society en Londres a la cual no pudo asistir Pauling al negársele la visa por razones políticas (ya que el año anterior se había iniciado el periodo del "macartismo"). También asistieron Atsbury, Wilkins y Franklyn, así como Corey proveniente del Cal Tech. Es probable que Franklyn le haya

mostrado algunas fotografías a Corey, sin embargo se desconoce cuáles, y además Corey no tenía la "intuición estructural" de Pauling (Judson, 1987, p.130). Lo curioso es que precisamente el día de la reunión de la Royal Society Franklyn comienza a tomar el segundo grupo de fotografías, las cuales habrían de cambiar el curso tanto de su investigación como de la de Watson y Crik.

Las fotografías requerían de dos a tres días de exposición al haz de rayos X (por lo que a pesar de que Pauling hubiera viajado a Londres muy probablemente no las habría visto) , así como de la inyección de burbujas de hidrógeno a la solución salina y a un delicado control exacto del contenido de agua de la solución donde se encontraban las fibras de DNA, en un procedimiento que no estaba carente de riesgos y que Franklyn -de gran capacidad experimental- había perfeccionado. Desde el invierno había tomado con Gosling fotografías que demostraban inequívocamente que las de Atsbury representaban en realidad una superposición de las dos formas. Ahora bien, para Franklyn la transición de la forma cristalina (que ahora llamó "A") a la paracristalina o húmeda ("B") era de tipo discreto, no continuo, y con estas fotografías llegó a la conclusión -errónea- de que ambas formas eran diferentes en algo más que el simple estiramiento. En particular una de las fotografías que obtuvo de la forma A era tan clara que Franklyn decidió que podía resolver la estructura a partir de un acercamiento matemático de tipo clásico mediante la llamada Síntesis de Patterson (método matemático desarrollado por un miembro de la escuela de Bragg), y no utilizando modelos. Ella consideraba que con una molécula tan compleja como el DNA, aún construyendo un modelo adecuado a los datos, uno no podría estar nunca seguro de que este sería el único modelo posible (p.131-

132). Esta labor la ocupó todo el año, pero lo importante es que estas fotografías de la forma A parecían ahora no indicar una hélice, y que al concentrarse en este análisis dejó de lado por completo el de la forma B.

Ahora bien, las fotografías que obtuvo Franklyn de la forma B en esa misma sesión de mayo de 1952 (la fotografía 49 y especialmente la 51) mostraban en el estado húmedo un inequívoco patrón helicoidal, pero si las fotos del estado A no mostraban según ella una hélice, la forma B tampoco podía serlo. La fotografía 51 del estado B mostraba claramente una hélice que daba una vuelta completa cada 34 amstrongs, con 10 nucleótidos por vuelta o 10 pares si se trataba de una cadena doble. Con un análisis ligeramente mayor la fotografía mostraba que los fosfatos debían estar afuera y las bases hacia dentro; asimismo la medición del diámetro daba 20 amstrongs.

Fué precisamente la fotografía 51 que, como vemos, aportaba tantos parámetros relevantes para la construcción del modelo la que Watson vio "inautorizadamente" casi un año después.

Como decíamos, Franklyn dejó de lado la forma B y volvió al análisis matemático de la forma A mediante el método conocido como Síntesis de Patterson. Posteriormente Crick le dijo a Franklyn que él no consideraba suficiente evidencia de la ausencia de una hélice el contar con una sola fotografía de la forma A con las características que Franklyn sostenía, y trató de dar una explicación alternativa para la formación de la imagen nítida de la forma A, que Franklyn había obtenido.

Wilkins, que había tomado entusiasmado algunas fotografías de

esperma donde el DNA estaba en sus condiciones "normales" se sintió de nuevo decepcionado, pues se dejó llevar por la idea de Franklyn de que el DNA no era una hélice a pesar de que ni siquiera vió las fotos. Lo más relevante de su trabajo es que estaba ya completamente seguro - y así lo estaba Franklyn- de que los fosfatos debían estar en el exterior de la molécula, haciéndoselo saber a Crick en una carta.

Para entonces podemos percibir la actitud condescendiente de Watson y Crick hacia Franklyn, así como la seguridad de su postura aún frente a la "evidencia". A diferencia de Wilkins, demasiado influenciado, ellos no hicieron caso de su evidencia de que la estructura A no era una hélice.

Mientras tanto, en la primavera y verano de 1952 Watson comenzó a dedicarse al análisis cristalográfico del virus del mosaico del tabaco -su supuesto objeto de estudio "oficial". Después de haber sido cristalizado por primera vez en los 30's, J. D. Bernal había tomado las primeras fotografías de rayos X del VMT; al observarlas Watson pensó que sugerían un arreglo helicoidal de las subunidades de la cápside, por lo que solicitó a Crick que le enseñase las matemáticas de las configuraciones helicoidales y comenzó a sacar fotografías -también después de que hubo aprendido a preparar los cristales del virus. En junio obtuvo la prueba de las marcas helicoidales y, sobre todo, la capacidad de "reconocer de inmediato e interpretar en detalle los perfiles de difracción de rayos X producidos por las hélices" (Judson, 1987 p.136).

Ahora bien, llegados a este momento podemos señalar las diferencias de enfoque y método que perseguían los tres grupos más avanzados en el problema. Franklyn se encontraba trabajando en una perspectiva "pasiva" en el sentido de que su acercamiento a la estructura procedía por un análisis matemático de las fotografías, en tanto Crick y Pauling abogaban por la utilización "activa" de modelos para proponer estructuras compatibles con los datos; pero la diferencia específica de Crick era que -con la influencia de Watson y la escuela estructural inglesa- él consideraba de modo "dinámico" el problema, pues la estructura propuesta debía dictar la función autorreplicativa del gen.

En la construcción de modelos el problema más difícil lo constituía el averiguar las fuerzas que unían a las hebras: ¿se trataba de los esqueletos de fosfato-azúcar o de las bases? Watson, convencido aún de que las bases debían encontrarse en el exterior de la molécula, sugería que existían iones de magnesio uniendo a los esqueletos en el centro de la misma, pero hacia fines de la primavera Crick -apoyado en una carta que le había enviado Wilkins- comenzó a considerar a las bases para sostener a la estructura. El problema, sin embargo, persistía, pues si se consideraba fundamental la variabilidad en el arreglo de las bases -el único grado de libertad de la molécula para efectuar una actividad genética- resultaba entonces difícil explicar la regularidad de la molécula mostrada en las fotografías. Crick primero pensó que las bases se hallaban intercaladas entre sí, pero después pensó en la posibilidad de que se atrayesen formando algún tipo de apareamiento.

Sin ser una idea nueva lo importante es que Crick le pidió a John Griffith que hiciese los cálculos matemáticos de cómo las

cargas eléctricas podían hacer que cada base atrajese a otra igual (adenina a adenina, etc.), lo cual explicaría la autorreplicación del gen. Griffith mismo ya había pensado en un apareamiento, pero de una purina con la otra (A con G) y de una pirimidina con la otra (C con T). El fundamento mecánico cuántico de los cálculos era dudoso por tratarse de moléculas tan grandes, por lo que se consideró que los cálculos eran tan solo aproximaciones (Crick ha dicho que los datos sólo mucho después se "endurecen"). El resultado indicaba apareamiento complementario entre A y T y entre C y G, pero Crick afirma haber desconocido en ese momento las reglas de Chargaff, al contrario de Watson que dice haberlas tenido presentes. Como dato curioso está el hecho de que el fundamento físico de la complementariedad había sido establecido en 1940 por Pauling y Delbruck en el único artículo que publicaron juntos (al que Delbruck aportó solo la idea inicial); Griffith y Crick desconocían el artículo, pero para Watson el tema era conocido.

Chargaff llegó a Cambridge a fines de mayo, y Watson y Crick fueron invitados después de la comida que Kendrew le ofreció en su casa [7], de la cual dice Chargaff: "Me impresionaron por su ignorancia extrema. ¡Watson lo deja claro! [en su libro]. Nunca había conocido a un par de hombres que supiesen tan poco y aspirasen a tanto. Tenían un estilo picaro y bromista, jóvenes muy listos que no sabían gran cosa. No parecían enterados de mi labor, ni siquiera de la estructura y la química de las purinas y las pirimidinas. Pero me contaron que querían construir una hélice, un polinucleótido que rivalizara con la hélice alfa de Pauling[...]. Tuve la impresión de una atmósfera intelectual típicamente británica, poco trabajo y mucha plática [...]"

(Judson, 1987 p.140-141).

En el verano Watson había viajado a Francia y establecido contacto con Hayes, quien había descubierto simultáneamente el fenómeno de la conjugación bacteriana, que implicaba la transferencia de material genético de una bacteria a otra en un proceso similar al de la reproducción sexual. Inmediatamente Watson inició una serie de experimentos con él, ya que residía en Londres. Asimismo inició una serie de lecturas que lo pusieron al tanto de la interacción DNA-RNA-proteínas. Los toques finales al artículo de sexualidad bacteriana se los daría en enero de 1953, al mismo tiempo que se desarrollaba el modelo final del DNA.

En septiembre de ese año se integran al Cavendish Peter Pauling (hijo de Linus) y Jerry Donohue (su ex-discípulo), quienes jugarán un papel importante en las semanas finales de la construcción del modelo de Watson y Crick. Asimismo, por esas fechas, surge otra discusión de prioridades entre el laboratorio inglés y el de Pasadena: tanto Pauling como Crick publican su teoría del superenrollamiento de hélices en Nature, casi simultáneamente, y en noviembre de 1952 J. Randall, director del King's elabora un informe de las actividades del laboratorio para el Medical Research Council, con copia para los miembros del grupo de Perutz. La sección del informe referente al trabajo de Franklyn indicaba de nuevo que el cristal de DNA era de tipo monoclinico centrado en las caras.

A finales de año Watson y Crick supieron, por una carta que Pauling envió a su hijo, que él y Corey habían desarrollado un

modelo para la estructura del DNA. La noticia fué un detonador para la actividad de Watson y Crick, quienes se habían dedicado a otras actividades. Después de preguntarle a Wilkins si le importaría que ellos retomaran el tema del DNA -a lo cual accedió a regañadientes ya que esperaba dedicarse él al tema una vez que Franklyn dejara el King's-, obtuvieron de Bragg el permiso para dedicarse de nuevo al DNA . Mientras Pauling no publicara nada, y ellos no obtuvieran información del modelo, podrían trabajar a marchas forzadas para intentar publicar simultaneamente.

El 31 de diciembre de 1952 Pauling y Corey enviaron una carta a Nature anunciando su modelo del DNA, la cual apareció hasta el 21 de febrero del año siguiente. Pauling envió una copia a Bragg y otra a su hijo Peter, quien la mostró inmediatamente a Watson y Crick. El modelo constaba de tres cadenas helicoidales y las bases hacia el exterior, e inmediatamente percibieron su semejanza con aquel primer modelo construido que habían dejado de lado. Obviamente lo primero que se les ocurrió fué que habían perdido una oportunidad única. Sin embargo poco a poco se fueron dando cuenta de los errores de Pauling.

Según el propio Pauling su estructura había sido equivocada porque su consideración del valor de la densidad era erróneo, y se había basado en las fotografías de Atsbury que, como Franklyn ya sabía- eran superposiciones de las dos formas del DNA. Para Chargaff el principal error de Pauling fué que carecía de sentido a la luz de la evidencia química -es decir, sus propios resultados (Judson, 1987 p.141), y el mismo argumento se podría aplicar al caso de Franklyn, quien para entonces trabajaba en un modelo en forma de "8" para la forma A, igualmente incompatible

con la evidencia química. Sin embargo estos argumentos no podrían explicar la diferencia -en ese momento- entre el avance de Pauling y el de Watson y Crick.

Watson y Crick tampoco contaban con la magnitud exacta de la densidad, ni sus fotografías eran mejores que las de Atsbury. Tampoco sabían que estas representaban una superposición de ambas formas. Pero sí percibieron los errores específicos de Pauling: en primer lugar el artículo proponía una "estructura general para los ácidos nucleicos" (DNA y RNA) lo cual era de por sí erróneo, no aportaba datos nuevos y era de tipo sintético, muy diferente al artículo de 1951 de la alfa-hélice. En su modelo Pauling oprimía demasiado los átomos de los esqueletos de fosfato-azúcar en el centro de la molécula; los esqueletos se mantenían unidos mediante enlaces de hidrógeno para lo cual Pauling añadía átomos de hidrógeno (y Watson pensaba en iones de magnesio). Sin embargo al añadirse el hidrógeno se cancelaban las cargas eléctricas de la molécula, de modo que la molécula dejaba de ser un ácido. El modelo, además, no explicaba nada de la replicación genética y desconocía -como señalamos- las reglas de Chargaff (Judson, 1987 p. 157).

El 30 de enero Watson viaja a Londres para trabajar con Hayes , de regreso pasa al King's; Wilkins estaba ocupado y él se dirige a Franklyn para mostrarle la nota de Pauling de Nature. Ella pronto se da cuenta de que el modelo es erróneo y de que utilizó las formas superpuestas de Atsbury, lo cual desconocía Watson. En ese momento se inicia la famosa riña que narra Watson en La Doble Hélice: según él Franklyn se molestó cuando él insistió en que la estructura del DNA era helicoidal, mientras ella seguía sosteniendo que no existía ninguna evidencia de ello.

Según Wilkins la riña no tuvo las dimensiones que Watson narra, pero lo que es inequívoco es que en ese momento en que ambos se "hermanaron" en contra de Franklyn, Wilkins le mostró a Watson en su despacho la histórica fotografía 51 de la forma B.

A pesar de haber estado presente en el Coloquio de noviembre del año pasado en el King's, Watson no había considerado ni recordado siquiera que el DNA podía presentarse en dos formas distintas dependiendo de la humedad. Lo que pudo identificar inmediatamente, gracias a su experiencia con el VMT y a los principios de cristalografía que Crick le había enseñado, fué el patrón helicoidal ineludible del DNA forma B. Watson asegura que no tomó ninguna medición sobre la fotografía, pero Wilkins le dijo lo esencial: la distancia interna entre nucleótidos de 3.4 amstrongs, y la repetición (que significaba una vuelta completa) de 34 amstrongs, cada diez juegos de nucleótidos. El diámetro de la molécula era de 20 amstrongs. No se observaban claramente las dimensiones de la celda unidad, con lo cual se obtenía la densidad, pero Wilkins dijo que los datos favorecían provisionalmente tres cadenas (Judson, p.160).

En el tren de regreso Watson dibujó lo que recordaba de la fotografía y se dió cuenta de que no excluía una estructura de dos cadenas. "Francis tendría que estar de acuerdo. Aunque era físico, sabía que los objetos biológicos importantes se presentaban por parejas" (Watson, 1981 p.161). Sin embargo decidió continuar construyendo modelos con las bases por afuera.

Con estas novedades y la persistencia de Franklyn en una estructura no helicoidal, Watson y Crick iniciaron una etapa de trabajo en el DNA que sería la final. Para Watson la solución debía estar cerca y contaban con unas semanas antes de que Pauling se diera cuenta del error de su propia estructura. Watson

narra en La Doble Hélice la sensación de competir contra Pauling en la carrera por el Premio Nobel, mientras que Crick refiere: "No recuerdo absolutamente ninguna ocasión en que me dijera semejante cosa; es un hecho que no entraba en mis pensamientos, y no me daba la sensación de que estuviera en su mente. Mi impresión es que estábamos sencillamente, sabe usted, locos por resolver el problema y todos los problemas afines" (Judson, 1987 p. 182).

La construcción del modelo adecuado se encontraba inmersa en este contexto profesional más amplio. Dice Perutz: "Ninguno de nosotros tenía ya confianza en el grupo del King's, por lo divididos que estaban entre ellos. Parecían incapaces de avanzar. En aquella situación, la competencia con Pauling fué importante porque Bragg creía en ella. Por eso Bragg juzgó que ya no podíamos contener a Watson y Crick" (Judson, p.161). En ese momento Bragg autorizó la construcción de nuevos modelos a escala en los talleres del Cavendish.

Watson intentó construir, con las pocas piezas de los modelos atómicos que tuvo en ese momento, estructuras de dos cadenas con el esqueleto de fosfato-azúcar hacia el interior, pero no podía evitar el apretujamiento de los átomos. Crick sugería también construir modelos de tres cadenas, ya que sus datos no los descartaban, y a inicios de febrero sugirió -como había recomendado Wilkins- colocar a los esqueletos en la parte externa. Watson probó enroscar los esqueletos como cintas ascendiendo por la superficie de un cilindro, e inmediatamente comprobó que los átomos se arreglaban sin dificultad. En esa semana hicieron el último intento de convencer a Wilkins de que trabajaran en el DNA, pero él prefirió iniciar hasta que Franklyn

se fuera al Birbeck College, lo cual ocurriría a mediados de marzo.

Crick le pidió a Perutz una copia del informe de Randall en el que al leer la parte de Franklyn quedó tan sorprendido como Watson al ver la fotografía de rayos X. La indicación de que el DNA era un "cristal monoclinico centrado en las caras" (tan conocida para Franklyn y tan mencionada aquí) repentinamente le hizo ver que la simetria de la molécula era perpendicular, por lo que era casi evidente que la molécula debía constar de dos cadenas, y que una de ellas debía viajar en una dirección y la otra en la dirección contraria. Lo que advirtió Crick fué igual de importante a lo que había captado Watson días antes, "que la molécula de DNA, hecha girar media vuelta, recobraba la congruencia consigo misma. La estructura era diádica, una mitad hacia juego con la otra, y a la inversa" (Judson, p.165). Al principio Watson no se percató de la importancia de esto pero Crick lo obligó a construir de nuevo los esqueletos en direcciones contrapuestas. Cabe preguntarse por qué Franklyn no sacó esta conclusión para ella misma, pero en realidad sólo se puede aludir a una falta de consideración general de los procesos biológicos (que producía por el contrario la adhesión a las hélices de Watson y Crick), una escasa imaginación estructural y a la falta de un interlocutor con el cual discutir. Crick, por su parte, se encontraba trabajando en su tesis de doctorado que, precisamente, trataba de la difracción de rayos X en la hemoglobina, la cual era un cristal del mismo grupo espacial que el DNA, de modo que captó inmediatamente lo que a todos se les había escapado.

El problema seguía siendo el acomodo de las bases en el interior de la hélice. Watson dejó por unos días la construcción del modelo y consultó la bibliografía: una monografía de James Davidson que dibujaba una vez más a las bases en su forma enólica, la más irregular e incapaz de formar puentes de hidrógeno, y una serie de artículos de J. M. Gulland y D. O. Jordan que indicaban que al poner manojos de moléculas de DNA en solución se formaban puentes de hidrógeno. Watson dedujo, entonces, que la transición de las bases de una forma tautómera a otra no era un impedimento físico tan grande para la formación de esos enlaces como lo había creído Crick. Según los autores los enlaces de H se formaban entre moléculas, pero eran muy intensos a pesar de que la solución contuviera poco DNA. Watson percibió, entonces, que ello solo se podría deber a que los enlaces se formaran al interior de cada molécula y no entre ellas.

En base a un trabajo de J. Broomhead de 1951 (también del Cavendish), que revelaba que dos bases iguales formaban puentes de hidrógeno, Watson probó hacer modelos con pares de bases idénticos. El problema es que los pares de purinas eran mucho mayores que los de pirimidina, lo que deformaría al esqueleto - que en las fotos se mostraba regular. Si bien este apareamiento homogéneo explicaba la replicación, no se veía por qué cada base no podría aparearse con la otra de su mismo tipo -por ejemplo, la guanina con la adenina-, lo cual acarrearía muchos errores de apareamiento.

Al mostrar el modelo al resto de los miembros del Cavendish el primero que vió su error fué J. Donohue, y una vez más contaron con la ventaja de tener interlocutores especialmente adecuados para su trabajo. El error que objetó Donohue fué la

utilización de las bases en su forma enólica, en base a que su tesis de doctorado -fundamentada en el mismo artículo de Broomhead que Watson había leído- había concluido que en la guanina (y de seguro en las otras bases) no existían corrimientos tautómeros como los que se reportaban en los libros de texto. Además, tanto los cálculos mecánico-cuánticos como la escasa evidencia indicaban que la forma natural más frecuente era la cetónica, también en contra de los diagramas consultados en la bibliografía.

Subitamente cayó el último obstáculo -de Crick- para aceptar la formación de enlaces de hidrógeno, si bien esto arruinaba el esquema de apareamiento homogéneo de Watson. Estos quedaban adicionalmente invalidados por la naturaleza antiparalela de las cadenas y porque no coincidían con las reglas de Chargaff.

Curiosamente ese mismo día, lunes 23 de febrero, Franklyn consideró pasajeramente a la forma B en su cuaderno de trabajo, y al compararlo con la A decidió de nuevo que ambas tenían naturaleza helicoidal, así como que existían dos cadenas con los fosfatos hacia afuera. Sin embargo, no captó la simetría de la molécula ni la relación complementaria entre las bases.

Hasta cuatro días después Watson y Crick comenzaron a considerar las reglas de Chargaff, que un un año antes habían sido tema recurrente y discutido con Griffith, prácticamente orillados por las observaciones de Donohue. La idea de apareamiento de bases y replicación complementaria resurgió y, de acuerdo a Crick "...la paradoja del asunto entero es que cuando nos pusimos a construir la estructura empezamos por no usar la

idea. No lo hicimos mientras no fuimos empujados a ello" , mientras que Watson tiene una versión diferente: "Francis y yo teníamos la regla de usar los menos datos y pocas suposiciones, que se pudiera, para resolver la estructura, y nunca supimos si las reglas de Chargaff tenían alguna razón funcional por completo ajena. Las razones de Chargaff surgieron justamente al final" (Judson, p. 172). Esa misma noche Watson recortó en cartón las nuevas figuras de las formas cetónicas recomendadas por Donohue de las bases, y al día siguiente, al ensayar varios arreglos "tropezó visualmente con la solución, a partir de una forma, de una representación" (p.172). Watson encontró que la adenina (una purina) podía formar dos enlaces de hidrógeno con la timidina (una pirimidina), y la guanina (purina) con la citosina (pirimidina). Los enlaces tenían la longitud correcta y eran líneas rectas, tal como lo requerían los principios de Pauling para construir modelos; además el enlace no era intercambiable, ya que la adenina solo podía formar estos enlaces con la timidina y la citosina solo con la guanina. Por último, ambos pares eran congruentes y ocupaban la misma longitud dentro del esqueleto de fosfato-azúcar.

Donohue aprobó las estructuras y Crick señaló que el modo como se unirían las bases al esqueleto significaría que las cadenas correrían en direcciones opuestas, en congruencia con el tipo de cristal que formaba el DNA. Cada cadena podía incluir tanto purinas como pirimidinas, lo cual era congruente con la simetría diádica. Asimismo las reglas de Chargaff quedaban explicadas y se satisfacía el criterio genético de que la molécula debía contener gran variabilidad, ya que las bases podían encontrarse en cualquier ordenamiento. Teóricamente la estructura había sido

resuelta; consideraba las dimensiones de la fotografía de Franklyn y todos los demás requerimientos. Ese día Crick le decía a todo el mundo: "Hemos descubierto el secreto de la vida".

Watson y Crick tuvieron que esperar hasta media semana para que del taller les entregaran los modelos a escala, y entonces comenzaron a construir la estructura. Aún entonces el trabajo requirió incluso la elaboración de un teorema por Crick que permitía erigir una sección de una sola hebra, sabiendo que la geometría de la otra quedaba justificada. La estructura terminada el 7 de marzo mostraba una vuelta completa del DNA, que alcanzaba la altura de dos metros -a escala de 5cm por amstrong.

Paradójicamente ese mismo día Crick recibió una carta de Wilkins en la que le anunciaba estar listo para trabajar en el DNA, una vez que la mudanza de Franklyn había ocurrido.

En seguida se dedicaron a verificar con regla y plomada las dimensiones y coordenadas de cada átomo, mostrando la estructura a Kendrew y Perutz (Bragg estaba enfermo). Alexander Todd asistió a petición de Bragg para confirmar que la estructura era bioquímicamente plausible, y no cometer un error equiparable al de la estructura de las proteínas (Judson, 1987 p.175). También Wilkins y Franklyn (instalada ya en el Birbeck College) llegaron al Cavendish, y corroboraron la plausibilidad de la estructura.

En ese momento Watson viajó a París, donde conoció a G. Wyatt, quien había descubierto las reglas de Chargaff en el DNA del germen de trigo, esperma de arenque y virus de insectos; estos últimos tenían una base anómala, la 5-meticitosina, sin embargo Watson vió que la estructura de esta base también se unía de

manera complementaria a la guanina, ya que el grupo metilo no intervenía en la formación de los enlaces de hidrógeno. Esta primera anomalía, pues, no solo quedaba explicada por el modelo, sino que se constituía en una primera confirmación independiente del modelo.

El manuscrito de Watson y Crick reportando su propuesta para la estructura del DNA fué enviado a Nature el 2 de abril, junto con los artículos de Wilkins y de Franklyn y Gosling, que afirmaban que el modelo era compatible con sus datos.

Por esos días Pauling llegó a Cambridge, y después de obtener una copia de la fotografía 51 de Franklyn vió que el modelo era altamente plausible. De ahí se dirigió con Bragg a la Conferencia Solvay de Químicos en Londres, donde este último anunció por primera vez publicamente la estructura de doble hélice del DNA.

Desde un principio Watson y Crick se habían dado cuenta de las consecuencias genéticas de la estructura, es decir, de la nítida relación existente entre estructura y función en la molécula del DNA. En realidad esta fué la primera confirmación relevante de este principio de la escuela estructural inglesa. Dos semanas después Watson y Crick escribieron un artículo especulativo en torno a la forma general en que la estructura sugería que se podía llevar a cabo la replicación génica (p. 184). En diciembre de 1953 publicaron un artículo más extenso sobre la estructura en el Proceedings of the Royal Society.

Ahora bien, de abril a septiembre de ese año Watson y Crick

trabajaron presentando la estructura a diferentes grupos de investigadores, sin embargo era evidente un hecho incómodo: toda la evidencia, hasta la incluida en el artículo de la Royal, procedía de la labor de otros. Crick -quien se ha destacado por su "popperianismo" determinó que, si el modelo era correcto, debía hacer ciertas predicciones empíricas. De modo que la labor que siguió fué la de precisar las consecuencias para que el modelo pudiera ser puesto a prueba.

La primera confirmación independiente fué realizada por Franklyn y Gosling. Randall, inauditamente, le había prohibido a esta que siguiera con el problema del DNA, pero para acabar con el trabajo de doctorado de Gosling volvieron a la Síntesis de Patterson de de la estructura A, con el modelo de la forma B en mente. En seguida quedó demostrado que también la forma A cuadraba con la estructura del modelo B propuesta, es decir, con los cambios exactos requeridos por las diferencias de longitud de las fibras de DNA (p. 187). La transición reversible de A a B quedaba cabalmente explicada.

La segunda confirmación fué de tipo biológico y había sido predicha por el segundo artículo de Watson y Crick sobre la forma de replicación que sugería el modelo. El asunto de la replicación era propio del grupo del fago, y al primero que se le ocurrieron los posibles modos de replicación (conservativa, dispersiva y semiconservativa) fué precisamente a Gunther Stent, quien las publicó junto con Max Delbruck. La demostración de que la replicación del DNA era de tipo semiconservativo -como lo sugería el modelo- se alcanzó con el famoso experimento de M. Messelson y F. Stahl, del CalTech, considerado por algunos como "el

experimento más bello de la biología" (p. 188), debido a su precisión, rigurosidad y sencillez -aparente.

En los siguientes años Wilkins continuó demostrando que la forma B y otras del DNA se encuentran presentes en cualquier especie biológica, y afinó la estructura de las formas A y B. En particular la forma B de Wilkins difería de la original en un cambio de ángulo de los azúcares que hace que las bases embonen mejor y se correspondan más adecuadamente con los datos cristalográficos.

3.2.2 La cuestión del método

Hemos presentado el conjunto mínimo de nociones, desarrollos, conceptos, técnicas, datos, etc., que posibilitaron el acceso de Watson y Crick a la construcción de un modelo para la estructura tridimensional del DNA. En este cúmulo de condiciones de todo tipo (tecnológicas, intelectuales, materiales...) cabe preguntarse, como lo hacen los distintos modelos epistemológicos e historiográficos cuál es el proceso que sigue un individuo y/o su comunidad para la construcción de cualquier conocimiento científico.

El libro de Watson "La doble hélice" publicado en 1968, busca narrar de manera muy personal este proceso. Quizá lo más valioso de esta obra sea el énfasis puesto en la importancia de la

creatividad y la abstracción por sobre el conjunto de información empírica obtenida. Sin embargo, como Crick mismo señala, la narración de "La Doble Hélice" obnubila el trabajo riguroso y racional que está supuesto en la propuesta de las hipótesis deductivas. Con esto no ha querido afirmar que el camino usual de construcción del conocimiento científico sea el de una rigurosa sumatoria racional de los datos que culminan en la formulación de una hipótesis. Al contrario: la narración de Crick no coincide con la de Watson en su evidente renuencia a tomar los datos técnicos como la sola base sobre la cual se sustenta inductivamente una propuesta teórica. Según Crick no hay "datos duros" sobre los cuales la investigación se sustente; sólo después de mucho trabajo -teórico y de contrastación- "los datos se endurecen" (Judson, 1987).

Así pues, en numerosas ocasiones Crick ha criticado el modo en que "La doble hélice" de Watson oculta, sin embargo, el proceso de formación de hipótesis ("variación" en los términos de Hull) y trabajo previo, haciendo ver este surgimiento de hipótesis en torno a la estructura del DNA como meras "ocurrencias". En 1967, al leer un borrador del libro Crick le envía una carta a Watson en la que afirma: "Tu libro es equívoco porque de hecho no transmite la atmósfera en que fué realizado el trabajo. La mayor parte del tiempo estábamos metidos en complicadas discusiones intelectuales acerca de puntos de cristalografía y bioquímica. La motivación principal era el comprender. La ciencia no se hace nada más chismorreando con otros científicos, no digamos disputando con ellos. Los requisitos mas importantes de la labor

teórica son una combinación de pensamientos exactos e ideas imaginativas" (citado por Judson, 1987 p. 182).

En realidad el libro de Watson contiene una gran cantidad de argumentos científicos que casi pasan inadvertidos por la ligereza de la narración y en su defensa habría que decir que explícitamente Crick había decidido seguir el camino de Pauling al determinar la estructura de alfa-hélice de las proteínas: restringir el problema a los mínimos supuestos posibles, tomando en cuenta la menor cantidad posible de datos ya que estos no solo suelen ser provisionales, sino incluso abiertamente engañosos (Judson, 1987 p. 111). Asimismo, Crick acepta haber imitado la osadía de Pauling como un aspecto del rigor científico; y sin embargo hemos visto en los incisos anteriores el cúmulo de condiciones teórico-empíricas necesarias para el desarrollo del modelo.

Cuando Watson y Crick comenzaron el trabajo con el DNA conocían muy pocos datos de éste (diámetros, longitudes, conexiones, densidad, contenido de agua, etc.), y la mayoría eran equivocados. La cuestión fué salir adelante con esto. Dice Crick: "...procurábamos la solución con el mínimo posible de supuestos [...]. Hay una razón perfectamente buena, no es solo cosa de estética, o de que nos pareciera un bonito juego consistente en usar el mínimo de datos experimentales. El hecho es [...] que sabíamos que Bragg, Kendrew y Perutz habían sido descarriados por los datos experimentales. Así que cualquier pizca de evidencia experimental que obtuviésemos nosotros en cualquier ocasión, estábamos dispuestos a rechazarla..." (Judson, 1987 p. 111). Además, Crick se dió cuenta del importante papel que podían jugar los modelos químicos a escala, representando a los átomos y sus

enlaces, al momento de decidir sobre un modelo teórico cuando todas las limitaciones físicas entraban en juego.

Así pues, según Crick la parte fundamental de su método -casi podríamos decir "demasiado popperiano"- consistía en la eliminación conciente de supuestos empíricos y la propuesta de hipótesis audaces que después se confrontaban con los hechos, es decir, la negación del método inductivo al estilo baconiano. Para Crick, específicamente, los datos cristalográficos del DNA obtenidos de las fotografías de Wilkins y de Franklyn no tuvieron relevancia para la determinación de la estructura del DNA, y su valor fué exclusivamente confirmatorio del modelo.

Ahora bien, si la reconstrucción de los eventos históricos nos ha mostrado que la imagen que tienen de sí mismos los científicos puede no ser la más objetiva y adecuada a la realidad, ¿podríamos, en cambio, confiar en que este método explicado por Crick fué el que realmente se utilizó?

El asunto se ha discutido, basicamente, en torno a la importancia que guardaron las evidencias cristalográficas en la construcción del modelo. Linus Pauling, por ejemplo, ha referido que el modelo del DNA propuesto por él y por Corey unas semanas antes del de Watson y Crick fracasó "porque su equipo tenía pocos datos experimentales propios" (Judson, 1987 p. 88). En especial el valor de la densidad del DNA, obtenido en la bibliografía, era equivocado, y las fotografías de rayos X del DNA eran bastante malas, preparadas sin gran cuidado, así que lo que se interpretaba era realmente una superposición de las dos formas cristalinas del DNA. De modo que si para el propio Pauling (encarnación de la osadía), los datos experimentales eran

esenciales, ¿cómo es que no lo eran para Watson y Crick? Pero más aún, Pauling argumenta que "fue la labor experimental de Wilkins la que puso a Watson y Crick en el buen camino. Watson obtuvo mejores preparados de DNA que aislaban una u otra de las estructuras,, y por eso consiguió fotografías de rayos X que separaban sus características" (p. 88).

Por otra parte, si bien al inicio de su investigación Watson y Crick contaban con muy pocos datos experimentales debido a que el DNA no era un objeto de estudio oficial en el Laboratorio Cavendish, a la particular situación que privaba en el King's College (que impedía el trabajo conjunto), y a su nula experiencia y escasa habilidad manual en la cristalografía, no podemos de ninguna manera afirmar que esta fuera la situación un año o año y medio después. Se ha enumerado ya la gran cantidad de elementos empíricos y teóricos absorbidos por ambos durante ese tiempo, de modo que no podemos sostener ingenuamente -aceptando acriticamente el supuesto método de Crick- que la construcción del modelo del DNA se llevó a cabo casi exclusivamente debido al uso de modelos moleculares prácticos y al poder de la "osadía" libre de "supuestos" empíricos. De hecho, contamos con un fuerte argumento histórico: al contar con pocos elementos empíricos Watson y Crick (lo mismo que Pauling y Corey) propusieron un modelo erróneo del DNA.

Surge, pues, una pregunta: ¿por qué ocultar -deliberada o inconscientemente- la importancia de las evidencias empíricas - particularmente las cristalográficas- en la construcción del modelo? Parte de la respuesta podría ser el descrédito general en el que la metodología inductivista ha venido cayendo, sobre todo a partir de la revolución en la mecánica cuántica y de la

difusión del trabajo de Popper en los 50's y 60's, así como a otros trabajos de filosofía e historia de la ciencia (la escuela francesa, por ejemplo), que pusieron en tela de juicio el valor del método baconiano [3].

Por otra parte, encontramos el deseo común del científico de que su trabajo sea considerado como original, y aquí entraría la falta de reconocimiento de la contribución de otros investigadores. Ello parecería contradecir el principio general de la historiografía de Hull, según la cual una manera de asegurar que las contribuciones propias sean citadas por otros, consiste no solo en demostrar la originalidad del trabajo, sino precisamente en la reciprocidad o balance en la concesión de créditos a quien se los merece. Watson y Crick dejan de citar, específicamente, el trabajo cristalográfico de Rosalind Franklyn. En efecto, como vimos antes, la fotografía del DNA tipo B (la forma paracristalina) que Franklyn había tomado y que Watson "utilizó inautorizadamente" (algunos historiadores hablan de un "robo" de información), aportó varios elementos empíricos de importancia insoslayable; entre ellos la magnitud del contenido de agua, y una idea aproximada de la densidad de la molécula, la seguridad de que debía tratarse de una hélice, probablemente de dos cadenas y la noción -solo después captada por Crick en sus justas dimensiones-, de que "la celda unidad del estado cristalino era de tipo monoclinico", de lo cual se desprendía que las cadenas coaxiales debían correr en direcciones opuestas por lo que, probablemente, la molécula contaba con dos y no con tres de ellas. Es decir, el trabajo de Franklyn constituyó una fente de información determinante en la elaboración del modelo de DNA, y no una evidencia empírica que solo posteriormente lo confirmó.

Lo interesante es que aún un tiempo después, cuando Crick había desarrollado amistad con Franklyn y hablaba después de su muerte, siguió negando el valor de la información obtenida de sus fotografías, enfatizando tan sólo su valor a posteriori como confirmación empírica independiente de su modelo.

Quizá no sea descabellado, pues, considerar la hipótesis de la desventaja social e intelectual de las mujeres en la ciencia (Abir-Am, 1991), especialmente en el sistema científico inglés de esos años. Este sistema, tradicionalmente ligado con las sociedades y clubes masculinos, parece haber sido directamente causante de la decisión de Rosalind Franklyn de salir del King's College para irse a trabajar con J. D. Bernal al Birbeck College, en donde la situación femenina era más relajada. Para Hull (1988) el sexo, la raza y otras condicionantes no guardan importancia clara con el desarrollo de la ciencia, pues un científico utiliza las aportaciones de otro siempre y cuando convengan a su trabajo, y sin consideración de factores de este tipo. Sin embargo este ejemplo histórico demuestra que la información de otro puede usarse sin reconocerse, siempre y cuando el "status" de ese científico sea menor.

Incluso Watson y Crick reconocen en su narración de los hechos la adopción de muchos valores de relevancia química obtenidos en la literatura (tales como las mediciones efectuadas por el grupo de Pauling en numerosas moléculas), y en la comunicación con los otros miembros del Laboratorio Cavendish y de otras unidades de investigación en Cambridge. Las más importantes a destacar son la del trabajo de Chargaff y de Todd en torno a las proporciones entre los nucleótidos y la estructura química de estos, así como los datos de cristalografía

anteriores, como los de Atsbury y Furberg, y los consejos en torno a las formas isoméricas de los nucleótidos obtenidos de Jerry Donohue.

Así pues, si el "método" supuestamente seguido por Watson y Crick durante su investigación, no coincide con la imagen que obtenemos después de la reconstrucción histórica, cabe preguntarse cuál es el camino seguido, en términos generales, en la elaboración del modelo de doble hélice del DNA.

Parece tratarse, en realidad, de una cuidadosa eliminación de supuestos y de datos ocasionales lo que permite tomar el camino de la abstracción hacia la determinación del núcleo de un problema y a la propuesta de una hipótesis que entonces puede ser confrontada con la evidencia empírica. Al respecto dice Hull: "No existe nada como los datos puros. Si existieran serían inútiles para la ciencia. Todos los datos están estructurados hasta cierto grado. Para contar como evidencia los datos deben contar a favor o en contra de una hipótesis o de otra. Uno de los talentos mas importantes que puede tener un científico es la intuición para una estructuración juiciosa de los datos" (1988, p.356-357) Sin embargo, es claro que la propia evidencia empírica va delimitando las opciones teóricas, y que el proceso de contrastación empírica, por lo tanto, ocurre a todo lo largo del proceso de construcción del conocimiento, cuestión que, obviamente, coloca en serias dificultades a las propuestas radicalmente darwinistas de corte evolucionista, tales como la de Campbell ("variación ciega") y Popper. Ya Michael Ruse (1987) ha argumentado con toda razón: "La ciencia se forma o dirige de acuerdo con ciertos objetivos que el científico percibe, en una

forma bastante diferente de lo que acontece en la evolución orgánica. La ciencia se dirige hacia lo que el científico espera que sea el reflejo de la realidad objetiva. Las viejas ideas son desechadas no porque son peores que las nuevas, sino porque se consideran erróneas. ¿Qué significa esto? Significa que las variaciones de la ciencia están dirigidas en una forma que no lo están las variaciones de la naturaleza" (p.71).

3.3 Vista general de la contrastación histórica con el modelo de Hull

Como vimos en el capítulo I, la competencia entre diferentes grupos de investigación, según Hull, es un asunto relevante para comprender la evolución del conocimiento científico. Si bien Hull considera también a la cooperatividad entre científicos y entre grupos, los elementos y caracteres que se consideran típicos de la ciencia son derivados, en su modelo, básicamente del carácter competitivo de ésta. Tales elementos básicos de la ciencia comprenderían la necesidad de una rigurosidad empírica de las propuestas, la propia contrastación empírica y la objetividad, así como el deseo de aportar un trabajo original que contribuya al desarrollo de ésta.

Ahora bien, la cooperatividad es en cierta forma "externa", ya que si bien es cierto que los investigadores que trabajan en grupo son más productivos, y que las relaciones de "parentesco conceptual" son determinantes, para Hull lo interesante es el hecho de que la formación de grupos de investigación tiene el efecto de que los científicos se comportan de manera diferente hacia los otros científicos, dependiendo de si estos son miembros de su propio grupo o de un grupo rival.

Los científicos, de acuerdo a Hull, deben comportarse de modo que su adecuación inclusiva conceptual se incremente. A los

científicos les preocupa el conocimiento que generan y, además, desean crédito por haberlo generado. Así que el "arma principal" de la comunidad científica contra las ideas novedosas es la "conspiración del silencio" (Hull, 1988 p.287). Ahora bien, la lucha por la aceptación de las propias ideas en esa comunidad es ardua, y la tenacidad es tan esencial como la propia originalidad científica. La razón, el argumento y la evidencia se supone que deciden las controversias de aceptación o rechazo de las nuevas ideas, pero cuando los científicos tienen que elegir, en realidad no solamente consideran a esta trilogía metodológica.

En primer lugar, la expresión de nuevas ideas no ocurre de manera totalmente clara, ya que el lenguaje utilizado es flexible y aún ambiguo, y los conceptos no se encuentran perfectamente delimitados pues el trabajo, precisamente, se encuentra aún en proceso de elaboración. De hecho, antes de publicar el científico debe efectuar un balance (de "costos-beneficio") entre una publicación rápida que cierre el derecho de primacía a otros, y una prudencia relacionada con un desarrollo suficiente del objeto de estudio. Así pues, en segundo lugar la ciencia se caracteriza por una mezcla de "secreto" y "apertura" relacionada con la vulnerabilidad que adquiere el científico al publicar, el deseo de que su trabajo y las ideas que de él se deriven se consideren totalmente originales, y la necesidad contradictoria de reconocer en el propio trabajo la influencia de trabajos anteriores validados por el prestigio de una teoría y/o un científico reconocidos, que a su vez transfieren legitimidad y validez a las nuevas ideas. En tercer lugar la heterogeneidad conceptual dentro de un mismo grupo de investigación y entre grupos distintos es notable, ya que de hecho no hay dos científicos que

compartan la misma combinación de conceptos, objetivos y métodos (Hull, p.291-292).

Esta descripción general de la organización del trabajo científico se plasma en una determinada conducta. Los asuntos de prioridad, por ejemplo, son comunes, pero no son discutidos en público la mayor parte de las veces (lo cual es sostenido por Hull en base a su análisis de la correspondencia privada entre editores de revistas e investigadores). Las quejas en torno a una mala comprensión y maniobras políticas por parte de los consejos editoriales de las revistas especializadas son también comunes; en cambio, las acusaciones de robo y fabricación de datos son extremadamente raras.

El mecanismo selectivo del cambio científico de Hull, pues, debe responder a estos fenómenos de la ciencia y, por ello, comienza por considerar a la ciencia como una institución social que, como tal, se encuentra caracterizada por ciertas normas de comportamiento (Hull, 1988 p. 304). La característica peculiar de las ciencias es el alto grado con el que los científicos parecen adherirse a estas normas (por ejemplo, casi nunca roban y casi siempre citan a sus fuentes), así como el éxito espectacular que la ciencia ha alcanzado en sus objetivos manifiestos. La pregunta es, entonces, ¿cómo conciliar la constatación de los intereses ajenos a la ciencia y el cumplimiento de las normas y valores más preciados de ella? El mecanismo que propone Hull contiene tres elementos: curiosidad, crédito y verificación. Los científicos gozan de su trabajo, pero también buscan crédito por él, y el mejor crédito es el uso que de él hagan los otros científicos. Así pues, el reconocimiento que persigue el científico -dice Hull- no es el del "público en general"[4], sino el de los pocos

científicos que trabajan en su area (p. 309). Ahora bien, la ciencia se encuentra estructurada de tal modo que los científicos comercian o intercambian "crédito por apoyo", y deben encontrar el balance preciso entre su proclamación de originalidad y las citas del trabajo de otros que apoyen su trabajo. Así, los científicos dan crédito no tanto a quien lo merece, sino donde puede ser útil, y cooperan en el grado en que lo hacen porque es en su propio interés hacerlo así; en otras palabras, la ciencia es una función de la adecuación inclusiva conceptual (p.310-311).

Según Hull ello explica por qué el robo es más raro y más penalizado que la omisión del crédito y las disputas de prioridad, ya que el primero pone en peligro la propia adecuación conceptual pues, de conocerse el hecho, el científico y todo su trabajo caerían en el descrédito, mientras que en el segundo y tercer caso sólo se arriesga a no ser citado por sus rivales. La fabricación de datos es, en cambio, el delito más castigado en la ciencia: generalmente la descubren miembros de otro grupo de investigación (linaje conceptual rival) ya que al no coincidir sus datos y resultados, efectúan una contrastación empírica rigurosa; al descubrirse ponen en cuestión no solo el trabajo del investigador y de su grupo sino el de todos los miembros de la comunidad que se han apoyado en él; por ello esta fabricación de datos tiene un costo demasiado alto para una buena parte de la comunidad. La equivocación, que debería ser un "delito" penalizado en el mismo grado que la fabricación de datos si el trabajo científico respondiera a los criterios racionales que se le han asignado (ya que afecta también a quienes se han basado en esos resultados) es, sin embargo, muy poco señalada, a menos que los errores de un científico sean frecuentes: en ese caso todo su

trabajo cae en descrédito.

Veamos a continuación cómo es que esta amplia descripción del comportamiento específico a esperar en los científicos de acuerdo al modelo historiográfico de Hull puede tener cabida en la reconstrucción histórica del desarrollo del modelo estructural del DNA:

A primera vista - e intuitivamente- el modelo de Hull parece tener en el caso de la biología molecular uno de sus mayores ejemplos o casos paradigmáticos. La adopción de una organización del trabajo centrada en equipos de investigación localizados en grandes y prestigiadas instituciones gubernamentales o privadas, necesitadas de un amplio "crédito" científico. La competitividad (no solo por el crédito científico sino por las posiciones de poder relevantes al desarrollo científico) e, incluso, la rivalidad surgida entre algunos de esos prestigiados grupos ha sido, precisamente, una de las características más repetidas del caso específico de la biología molecular. El alto prestigio de esta disciplina contribuiría a hacer de ella un nicho altamente competido.

Por otra parte, el sistema de publicaciones especializadas desarrolladas desde el siglo pasado (ver Apéndice), se constituye como el lugar adecuado para el intercambio de crédito o de "silencio" propios del mecanismo de cambio conceptual propuesto por Hull si bien, como es natural, el sistema editorial adyacente a la disciplina se ha venido ampliando conforme esta se ha expandido. Más aún, dentro de la estrecha línea histórica que hemos elegido dentro de la biología molecular (el camino a la doble hélice) encontramos varios casos particulares especialmente

convenientes para una contrastación con el modelo de Hull, tales como la indiferencia ante el trabajo de Avery, la rivalidad entre el grupo de CalTech y el de Cavendish, la actitud competitiva de Watson y Crick ante Pauling y el grupo del King's College, incluida -obviamente- la "utilización inautorizada" de las fotografías de Franklyn.

Sin embargo, un análisis más detallado nos puede revelar la posibilidad de explicaciones alternativas y, lo más importante, el hecho de que hay numerosos eventos y consideraciones de la historia del modelo del DNA que no tienen cabida dentro de la historiografía de David Hull.

3.3.1 El problema de la competencia entre diferentes grupos de investigación.

La rivalidad existente entre el grupo de Bragg en el Laboratorio de Cavendish en Cambridge, y el grupo de Pauling del CalTech en Pasadena tiene, en general, buena cabida dentro del modelo de Hull. En efecto, Pauling cometió una importante "descortesía" que dió inicio a la consabida competitividad entre ambos grupos: la publicación de los principios de la cristalografía (que aún ahora se conocen como "Reglas de Pauling"), sin considerar el trabajo pionero de Bragg que incluía el uso explícito de tres de esas seis Reglas.

Posteriormente, el intento fallido de Bragg, Perutz y Kendrew

de proponer una estructura para las cadenas polipeptídicas, explicable desde su incapacidad para comunicarse con los químicos de su propio equipo (posteriormente Haurowitz le aseguró a Perutz que, de haberle preguntado, él le hubiera asegurado que el enlace peptídico necesariamente tenía que ser rígido), también podría usarse para sostener el argumento general de Hull: el balance entre "secreto" y "apertura", entre "originalidad" y "búsqueda de fuentes" fué erróneo en el caso del grupo inglés (lo cual produjo su fracaso) y, parcialmente en el grupo de Pauling. Lo mismo podría decirse del intento fallido del grupo de Pauling al proponer un modelo para la estructura del DNA: su falta de evidencia empírica directa (falta de comunicación con Wilkins) aseguró el fracaso de su propuesta.

Sin embargo, no es fácil decidir si, alternativamente a la explicación selectiva de Hull, lo que manifiestan estas dos propuestas fallidas de Bragg y de Pauling no sea la competitividad del quehacer científico sino, precisamente, la necesidad ineludible -casi diríamos estructural- de la cooperación en una rama científica caracterizada por la multidisciplinariedad. Lo mismo cabría decir de la utilización inautorizada de las fotografías de Franklyn que llevaron a cabo Watson y Crick: el caso puede muy bien documentar la necesidad fundamental de la cooperación científica entre individuos y grupos, trascendiendo y aún violando todas las formas sociales históricamente reconocidas que, en general, abogan por una especie de "propiedad" del conocimiento y aún de los objetos de estudio. Si Hull ha dicho -como supuestamente ocurre en la evolución biológica- que la cooperación que en efecto se observa ocurre a un nivel análogo al fenotípico o expresivo (la "forma"),

pero que la competencia es el mecanismo que ocurre a un nivel análogo al genotípico (el "contenido"), nosotros sostendríamos, por el contrario, que a pesar de que la "forma" del quehacer científico sea de tipo competitivo, su necesidad profunda o "contenido" es la cooperación, el intercambio de información en una ciencia moderna que, por su extensión y profundidad, es imposible de ser abarcada por una sola persona. Desde esta perspectiva, la competitividad y el "egoísmo" asociados al concepto de adecuación inclusiva conceptual no sería, exactamente, mas que una "forma" del desarrollo histórico de la ciencia.

Ahora bien, volviendo a la enemistad entre el grupo estructuralista inglés y el californiano, tenemos otro elemento: la aseveración repetida de Pauling de que en ningún momento él se sintió trabajando en una relación de tipo competitivo (Judson, 1987), a diferencia de la obsesión competitivista e incluso estimulante que Watson relata en La Doble Hélice. Según Pauling él estaba seguro de que algún día resolvería el caso del DNA, y además este no era un problema que lo ocupara realmente; ello coincide con las evidencias independientes en torno al interés secundario que los problemas biológicos tenían para Pauling, pese a todo el esfuerzo de la Rockefeller por que se interesase en ellos. Si bien es posible que Pauling mienta en lo referente a su interés por el DNA, tampoco nos es ya posible aseverar su competencia por la determinación de la estructura. Queda pues, la posibilidad de que, al menos en el caso del DNA, Pauling no se encontrara compitiendo con nadie, lo que en biología querría decir que su "nicho" y el de Watson y Crick no coincidían.

Sin embargo, existen más dificultades para sostener, incluso, que los miembros del grupo inglés se sintieran en competencia con Pauling. Tanto Crick como Franklyn sentían motivación y respeto por Pauling. A tal grado que la recomendación de Crick para que Watson estudiara The nature of the chemical bond, su propio análisis de años de las consecuencias teórico-experimentales del modelo de alfa-hélice y su adopción explícita de los métodos de Pauling, indican no solo el que para Crick este era "el modelo a seguir", sino que las supuestas diferencias conceptuales que debían encontrarse entre ambos "linajes" no son tan grandes como cabría esperarse del modelo de Hull. Tan solo en las referencias de Watson encontramos el afán de competencia (Judson, p.117) e incluso el sueño por el Nobel; pero esto podría muy bien deberse, entonces, a la particular personalidad de Watson, quien se ha convertido en uno de los mejores "administradores" de la ciencia y, tal vez, de un segmento de la comunidad científica. Al respecto G. Allen (1991) ha señalado que el modelo de Hull -como veremos en el siguiente inciso- adolece de reflejar tan solo las características de lo que llamaríamos la "clase alta" de los científicos, estos sí emprendedores y competitivos por alcanzar posiciones de poder dentro del sistema científico.

Por otra parte, hay un aspecto del trabajo de Hull que coincide plenamente con la reconstrucción histórica que hemos realizado. Se trata de la constitución colectiva de un conocimiento objetivo, aspecto en el cual la organización de los científicos en diferentes grupos de investigación sea quizá de la mayor importancia. Al respecto tenemos varios ejemplos: el

primero sería cuando Bragg, Perutz y Kendrew publicaron su fallida estructura proteínica y Pauling es el primero que se da cuenta de los errores en que han incurrido, gracias a que su propio trabajo era cercano y no coincidía con la propuesta del grupo inglés. Ahora bien, el ejemplo clásico de una contrastación empírica independiente sería la contrastación del modelo de alfa-hélice que llevó a cabo Perutz: en base al modelo propuesto por Pauling, Perutz predijo que en las proteínas naturales se encontraría en las fotografías de rayos X una pequeña mancha a intervalos de 1.5 amstrongs, relacionada con el "ascenso" de la hélice en cada vuelta. Ni qué decir que al encontrarla en varias proteínas fibrosas y en segmentos de hemoglobina Perutz aportó la primera confirmación del modelo de Pauling. Por otra parte, la segunda confirmación de la existencia de la alfa-hélice la proporcionó de manera teórica el propio Crick, gracias al desarrollo de sus dos teorías helicoidales.

Asimismo, quienes refutaron con todo rigor el primer modelo de DNA propuesto por Watson y Crick, fueron Wilkins, Franklyn y Gosling, miembros del grupo "rival" del King's College, en base especialmente a los datos experimentales aportados con seguridad por Franklyn y al desarrollo de la teoría helicoidal de Wilkins y Stokes. A su vez, fueron Watson y Crick quienes por primera vez (gracias a la experiencia de su primer fracaso) se percataron del error que había cometido Pauling al proponer una estructura del DNA que no era ácida, en realidad, sino sal (una vergüenza científica para Pauling solo equivalente a la de Bragg, Perutz y Kendrew en su consideración de un enlace peptídico flexible para las proteínas).

La objetividad, pues, se construye colectivamente en este

sentido ya que, como afirma Hull, nadie será más riguroso y exigente con los datos, métodos y conclusiones, que un grupo rival cuyo trabajo no coincida con esos resultados. Dice Hull: "La división de científicos en pequeños grupos de investigación, así como en grandes demos facilita el proceso de verificación. Los científicos no son proclives a exponer sus propios puntos de vista al tipo de exámenes que sus oponentes son capaces de hacer" (1988 p. 353).

3.3.2 Aspectos de la historia de la ciencia no considerados por el modelo de Hull.

De mayor importancia que la contrastación anterior es para nosotros la consideración de aquellos elementos de relevancia histórica que no tienen cabida en el modelo de cambio conceptual de Hull. De alguna manera al sugerir interpretaciones alternativas a su forma de reconstrucción histórica nos encontramos aceptando parcialmente la suya y, lo que es más, quedamos "cautivos" en los criterios de su propia argumentación. En cambio, al señalar los aspectos que creemos que no pueden quedar incluidos en la argumentación de Hull, podremos referirnos a los límites inherentes a este desde una perspectiva que forzosamente queda fuera de la de él.

El primer aspecto pasado por alto por Hull es el de la importancia de las relaciones de clase en la ciencia (Alison).

1991). No nos referimos con esto al problema de la "determinación" que podría ejercer el origen de clase de un científico con respecto a los contenidos específicos de la ciencia (la vieja y supuesta contradicción entre "ciencia burguesa" y "ciencia proletaria"), problema al que Hull se refiere y descarta con relativa superficialidad en los primeros capítulos de su libro. Este es un problema sumamente complejo que ha sido abordado, en general, de manera demasiado simplista como para pretender defenderlo o refutarlo aquí. A lo que nos referimos es mas bien a un fenómeno extensamente estudiado -y de alguna manera confirmado- por los sociólogos de la ciencia y que, debido al enfoque supuestamente "social" y atendido a la "práctica real" de la ciencia de Hull, es practicamente imposible de explicar su ausencia: se trata de la estratificación socio-económica [5] de los trabajadores de la ciencia dentro de los institutos, laboratorios y/o equipos de investigación.

Para comprender la relación entre la física y la biología, esencial para la reconstrucción histórica de los orígenes de la biología molecular, vimos que en los 30's y 40's esta disciplina no era una "rama nueva" de la biología tradicional que haya adoptado métodos y conceptos de la física -como tradicionalmente se ha considerado. Lo que sostenemos es que la biología molecular se originó como una nueva biología sin biólogos, en el sentido de que se desarrolló expresamente como un campo en el que los físicos echaron mano de sus propios métodos, técnicas, conceptos y objetivos para acercarse a los problemas tradicionalmente ligados a la biología, en un proceso que puede definirse como de "transferencia tecnológica de la física a la biología" (Abir-Am, 1982a), y que tuvo el efecto práctico y omnipresente de

desarrollar una organización del trabajo de investigación basado en una estratificación jerárquica específica: generalmente los físicos tuvieron la dirección de esos grupos y los biólogos fueron sus asociados y técnicos. Ello sin olvidar la estratificación jerárquica general a la organización de la ciencia, es decir, la referente al status menor que los estudiantes -y las mujeres- tienen en la vida de un laboratorio.

En realidad la comunidad científica se encuentra, como el resto de la sociedad en que se inscribe, organizada en "clases" (a pesar de lo desprestigiado del concepto quizá no exista otro mejor para sustituirlo). Ahora bien, Hull se aboca exclusivamente a modelar el comportamiento de lo que podríamos denominar la "clase alta" de los científicos: aquellos que tienen la capacidad y la posibilidad de ser emprendedores y agresivos, y que obviamente tienen alguna oportunidad en la lucha por las posiciones de poder asociadas a la "comunidad científica" (Allen, 1991) que, vista así, no es "tan comunidad". La referencia de Hull a este problema consiste en su adhesión a la "Ley de Lotka" , según la cual pocos científicos aportan la mayoría del conocimiento científico, en contra de la hipótesis de Ortega y Gasset de que la mayoría de los científicos, incluso los más mediocres, aportan su parte al desarrollo general de la ciencia. Dice Hull: "Los grandes avances de la ciencia son realizados por unos pocos científicos. Lo más descorazonador es que aún la ciencia más normal es el producto de unos cuantos científicos. Como en el caso de las artes, la ciencia es extremadamente elitista. Tal vez todas estas personas tengan el mismo valor, pero no todas las ideas son igualmente buenas. El cambio cognitivo en la ciencia es necesariamente elitista" Y más aún:

"cualquier reestructuración de la ciencia que neutralice el carácter altamente selectivo de este proceso seguramente será destructivo" (Hull, 1988 p.360-361). Como vemos, Hull no diferencia claramente entre el carácter clasista o elitista de la ciencia, y el proceso selectivo de las ideas (que tendencialmente selecciona a "las mejores" de éstas).

En la reconstrucción histórica de la sistemática que Hull elabora es clara su referencia exclusiva a los "protagonistas visibles", y estos actores de Hull son análogos a los heroes de la historia social y política tradicional (llamada en México "historia oficial"): ellos no hacen el "trabajo sucio" de la ciencia, sino que lo dirigen. Ahora bien, esta concepción de la historia se encuentra ampliamente superada y criticada desde los años 40's y, con mayor énfasis, a partir de los 60's [6]. De ninguna manera estamos apoyando algo como una "historia de masas de la ciencia", enfoque que muy difícilmente puede resolver los problemas relevantes del descubrimiento y el desarrollo científico; lo único que sostenemos es que los análisis sociales de la ciencia han alcanzado un gran desarrollo y no parecen ser incorporados al modelo de Hull.

En el caso específico de la historia y el análisis de la ciencia es imposible no atender -eso sí, críticamente- a los desarrollos paralelos de la propia sociología de la ciencia. Actualmente somos conscientes de que gran parte de los trabajadores científicos de base -técnicos de laboratorio, técnicos de mantenimiento, incluso estudiantes- desarrollan ese proceso de trabajo que Hull ha retratado parcialmente en Science as a Process. En especial Allen (1991) ha destacado que la naturaleza competitivista que Hull cree encontrar en la ciencia

como un todo es un efecto "artificial" de la parcialidad de su enfoque, ya que a nivel del trabajo cotidiano-manual aún los protagonistas son generalmente "cooperativos".

Dentro de los grupos de investigación y eventos que aquí reseñamos, es ya un ejemplo paradigmático el disgusto y la decepción mostrada por numerosos colaboradores de Pauling (Robert Corey incluido) por el escaso crédito por el trabajo de laboratorio realizado en Cal Tech y que fué, precisamente, el sustrato empírico sobre el que se basaron las aportaciones de Pauling (Abir-Am, 1982b). Asimismo, el trabajo de Wilkins y Franklyn, y el de Bragg y Perutz es imposible de pensarse sin los técnicos en cristalografía. Por último, la construcción precisa y oportuna de los modelos químicos a escala en la etapa final del trabajo de Watson y Crick, llevada a cabo en los talleres del Cavendish es esencial para la reconstrucción completa del descubrimiento de la estructura del DNA. En este mismo sentido habría que considerar, por lo menos, la posibilidad de que la desconsideración por el trabajo de Franklyn como fuente de información se haya debido a su condición de mujer en un medio de trabajo profundamente conservador como el inglés de los años 50's (Abir-Am, 1991).

Otro de los aspectos notoriamente ausentes no solo del modelo de Hull, sino de los modelos historiográficos en general, es el papel jugado por el desarrollo técnico en la construcción del conocimiento. Probablemente este "olvido" se relaciona con el anterior, ya que hace referencia al prejuicio general de la división entre trabajo manual e intelectual. Pero más allá de este aspecto social el problema de la técnica guarda importancia

central para una serie de preguntas -tradicionalmente ligadas a la epistemología- vitales en la discusión filosófica de la naturaleza del conocimiento: nos referimos al problema del realismo ingenuo despertada por la revolución en la mecánica cuántica. La pregunta por el papel perturbador que ejercen los instrumentos en el objeto de estudio tiene también consecuencias para la biología molecular -recordemos la búsqueda de la complementariedad biológica por Bohr y las dudas de Wilkins en relación a la artificiosidad de las fotografías del DNA. Más importante aún es el hecho de que los objetos de estudio de la biología molecular son posibles, es decir, existen, solamente en el sentido de que el desarrollo tecnológico propio de la ciencia y la industria moderna los producen. Desde el uso generalizado de la luz eléctrica en este siglo, hasta la utilización de los rayos X, la centrífuga y el espectrofotómetro, prácticamente ningún objeto típico del estudio de la biología molecular (precisamente moléculas) es accesible al científico sin la mediación de la técnica. Sabemos que no es este el lugar adecuado para profundizar en el tema, pero consideramos que vale la pena reflexionar acerca de la reiterada ausencia de la técnica en la historiografía y filosofía de la ciencia.

NOTAS AL CAPITULO III

[1] La genética inglesa se encontraba seriamente rezagada con respecto a la norteamericana. Por aquellos años el Profesor de Genética en Cambridge era R. A Fisher, uno de los fundadores de la genética de poblaciones que, sin embargo, se distinguía más por sus dotes de matemático que por un interés profundo en la naturaleza de la vida. En Oxford ni siquiera existía una cátedra de genética; en 1953 se contrató como Profesor de Botánica al citólogo C. D. Darlington, quien hacía observaciones de los cromosomas usando microscopio óptico, en un enfoque que no superaba lo realizado en los años 30's. En Edimburgo se encontraba C. H. Waddington como Profesor de Genética; sin embargo Waddington había tenido una formación inicial en embriología y su antirreduccionismo le impidió aceptar el papel determinante de los genes en el desarrollo de los organismos (Watson, 1987). Por si fuera poco su militancia marxista lo distrajo de la investigación y le atrajo enemistades, lo cual le impidió seguir obteniendo el apoyo que inicialmente recibió de la Fundación Rockefeller (Abir-Am, 1982).

[2] David Hull ha desarrollado analíticamente el tema de la relación entre la edad de los investigadores y su actitud frente a las novedades científicas. El conocido "Principio de Plank" de la historiografía de la ciencia dice que "una nueva verdad científica no triunfa convenciendo a sus oponentes y haciéndolos

ver la luz, sino por que sus oponentes eventualmente mueren, y se desarrolla una nueva generación que se hace familiar a ella". Así pues, cada generación de científicos es cultivada en una ortodoxia particular y, una vez inductivada, no puede ser convertida. El análisis -criticable- de Hull concluye, para el caso de la conversión al darwinismo en los años siguientes a la aparición de El Origen de las Especies, que si bien aquellos que negaban la evolución de las especies en 1869 (diez años después) eran considerablemente más viejos que aquellos que la aceptaban, la edad sólo puede explicar el 10% de esta variación. Así pues, según Hull nuestras intuiciones acerca del curso de la ciencia, a pesar de no ser totalmente falsas, tampoco son del todo confiables (Hull, 1988). En Science as a Process, sin embargo, Hull defiende mediante el concepto de adecuación inclusiva conceptual el hecho de que a mayor compromiso y crédito obtenido por un científico mediante su adhesión a un punto de vista científico, es más difícil deshacerse de él para convertirse a otra teoría.

[3] Es sumamente paradójico que el caso más renombrado de una supuesta utilización de una metodología de la ciencia por un científico, que posteriormente la historia de la ciencia ha demostrado que no existió, es el de Charles Darwin.

Solamente que en el siglo XIX, Darwin argumentó haber usado en todo momento el método inductivista, entonces unánimemente aceptado como el método científico adecuado. Los trabajos de historia y filosofía de la teoría de la selección natural han demostrado la misma alternancia de inferencias inductivas e hipótesis deductivas, así como aceptación explícita de supuestos

en el caso de Darwin (Cfr. Limoges, 1970-1976).

[4] En efecto, en general la comunidad científica no vé con buenos ojos a los miembros que ocupan una porción considerable de su tiempo a la divulgación y promoción "pública" de sus ideas. Hull designa al proceso mediante el cual el científico se convierte en un hombre muy conocido por los medios masivos de comunicación "saganización" (en "honor" de Carl Sagan, ejemplo paradigmático). En la biología otro de los candidatos -dice Hull- a la saganización es S. J. Gould (comunicación personal).

No me parece que sea este el lugar para discutir la conveniencia e importancia de la divulgación científica, sin embargo sería interesante estudiar, desde la sociología de la ciencia, la relación que guarda este "desprecio" por la vida pública con la consideración elitista que tienen de si mismos los científicos.

[5] Recientemente la revista Time (febrero, 26, 1992) publicó un artículo en el que se reflexionaba acerca de la renuencia a usar el concepto de "clases sociales" tanto en la literatura común como en la especializada en los Estados Unidos. La ausencia del concepto, según el autor, se debía tanto a la enemistad ideológica general con la investigación marxista como al anhelo de que los Estados Unidos pudieran ser el único país "sin clases", es decir, aquel en que se demostrara que la mejor manera de vivir es "perteneciendo la gran parte de la población a la clase media".

[6] Nos referimos a la crítica contra la historiografía

tradicional que, desde finales de los 30's pero sobre todo en los 40's surge con la Escuela de los Anales en Francia; conceptos básicos tales como la renuencia a estudiar "acontecimientos", y la aceptación de la importancia de estudiar grandes fenómenos sociales en largas duraciones de tiempo. Uno de los objetivos más importantes de esta escuela fué su incorporación de los desarrollos de otras ciencias sociales (la sociología, la geografía, la demografía, etc.) en el discurso histórico (Cfr. Bloch, M. 1949-1991; Braudel, F. 1968-1984). Asimismo, a partir de los 60's y en la actualidad, vemos renacer la idea de una "narrativa histórica", que si bien incorpora los elementos analíticos de la Escuela de los Anales y otras, persigue una descripción histórica contextualizada de cada elemento.

[7] Ya hemos mencionado que Chargaff es un científico con una perspectiva original y crítica respecto de la biología molecular. Dice Chargaff al hablar de la cita con Watson y Crick: "Mi visión de la ciencia es minoritaria, por supuesto. Es una visión más compartida por filósofos y humanistas. La aclamación pública concedida a los científicos es exagerada: cada científico es tan listo como lo és, y nada más. En mi opinión, la ciencia del presente, en especial la ciencia biológica es un síntoma directo de la decadencia de Occidente: todo ese parloteo descarado acerca de creación y multiplicación figurará como la barbarie del siglo XX" (Judson, 1987 p.140).

CAPITULO IV. EL MODELO SELECCIONISTA DE DAVID HULL DESDE LA
PERSPECTIVA DE LA BIOLOGIA

4.1 Ubicación del modelo de Hull dentro de la perspectiva evolucionista contemporánea.

En el capítulo I reseñamos algunas de las propuestas conocidas bajo el nombre de "epistemología evolucionista" e introducimos los aspectos básicos del modelo seleccionista de Hull. Volvemos ahora a ello con el fin de situar con mayor profundidad esta propuesta.

El modelo de cambio conceptual de Hull para explicar el desarrollo de la ciencia se distingue, principalmente, por dos características particulares y una de tipo general:

a) La intención de identificar las características generales de los procesos selectivos en general, y no de establecer una analogía de la evolución biológica al desarrollo social y conceptual. La de Hull sería una "analogía por justificación" (Ruse, 1987) solo en un sentido especial, ya que no intentaría justificar la evolución de la ciencia con el mismo mecanismo -la selección natural- de la evolución biológica, sino que intentaría

justificar a ambos desde una teoría más general que los abarque: la teoría general de los procesos selectivos. Sólo en este sentido podemos entender la utilización "literal" de algunos conceptos biológicos de corte seleccionista para explicar la especificidad del proceso social del desarrollo científico.

b) La noción de que con este tipo de modelos se está haciendo "ciencia de la ciencia", con las mismas características y valor que la ciencia natural a la que pretende explicar y que puede, por tanto, explicar también el desarrollo de la "ciencia historiográfica".

c) A estas dos características específicas cabría añadir una de tipo general pero que tiene gran importancia metodológica para Hull: la intención de elaborar esta ciencia de la ciencia, debe basarse en el mismo tipo de consideraciones metodológicas que utilizan los propios científicos y que han resultado evidentemente exitosas.

La reconstrucción de los orígenes de la biología molecular y el caso de la construcción del modelo del DNA nos ha mostrado los aspectos que se iluminan, así como las dificultades generales que surgen al intentar explicar el desarrollo histórico de una disciplina bajo una teoría selectiva general de este tipo, por lo que se antoja necesaria una primera ubicación de Hull dentro de la perspectiva de la propia biología moderna.

David Hull ha utilizado en la construcción de su modelo elementos muy diversos dentro de la(s) teoría(s) evolutiva(s) contemporánea(s). De igual manera que su libro Science as a Process está dedicado a filósofos e historiadores por igual, también lo está para biólogos. En él Hull arroja luz sobre

numerosas discusiones, tanto terminológicas como substanciales, que se vienen dando en la biología evolutiva desde sus inicios y, con mayor auge, desde los años 70's. Dentro de estos problemas Hull trata, entre otros, el de los llamados "niveles de selección", el del progreso biológico, el de la naturaleza - continua o discreta- del cambio evolutivo, el de la "relatividad" de una teoría evolutiva basada en los organismos sexuales y, obviamente, el de las diferentes escuelas de la sistemática. Para ello utiliza las definiciones usadas por R. Dawkins en cuanto a los elementos básicos del proceso evolutivo: replicadores, interactores, selección y linaje, así como la caracterización del proceso evolutivo de Lewontin (1970) en cuatro principios: la variación fenotípica, la adecuación diferencial, la heredabilidad de la adaptación y la herencia weissmaniana.

Una vez contando con esta caracterización general de la evolución, y con una definición funcional de lo que es un gen (para el caso específico de la evolución elige el concepto de "gen evolutivo" de Williams) [1], Hull lleva a cabo un recorrido inverso al de la mayoría de los evolucionistas: en lugar de tratar de definir qué entidades biológicas cumplen el papel de cada uno de estos elementos básicos, primero define las cualidades de ese elemento, y después investiga qué entidades las cumplen. Así, por ejemplo, tenemos que las cualidades de un interactor (entidad que interacciona como un todo cohesivo con su medio ambiente; de tal manera que esta interacción causa que la replicación sea diferencial) son cumplidas paradigmáticamente por los individuos de una especie, sin embargo muchas otras entidades pueden funcionar como tales; incluso los genes y, en ocasiones un grupo o población.

En este sentido la caracterización de Hull de la evolución biológica resulta sumamente abierta a las diferentes posturas rivales dentro de la teoría evolutiva. Su análisis, por ejemplo, aceptará que la evolución puede ser continua o discreta, y que diferentes entidades biológicas, situadas en niveles jerárquicos distintos, podrán cumplir, por ejemplo, el papel de replicadores o de interactores. Sin embargo, la hipótesis de esta sección es la siguiente: a la luz tanto de su análisis de la teoría evolutiva, como de la reconstrucción histórica que hemos hecho, creemos que Hull se inclina por una versión altamente seleccionista de la evolución. Veremos cómo ello es causante tanto de su visión "pan-seleccionista" como del carácter especialmente competitivo que él ve en la ciencia; asimismo es la razón por la que, a pesar de su importante diferencia con los sociobiólogos -es decir, que "[él] no cree que los cambios en las frecuencias génicas tengan nada que ver con el cambio conceptual en la ciencia" (Hull, p.231)-, su modelo parece ser una contribución al programa de investigación de la sociobiología.

Por otra parte, los conceptos de mayor importancia en el modelo de cambio conceptual de Hull, son los de "adecuación inclusiva", "competencia intra e interdémica" y "linajes". Estos se derivan de una cierta parte de la teoría de la evolución, que al menos en la actualidad no es, ni mucho menos, una teoría unificada. De hecho, vivimos quizás en estos años el proceso de sustitución de una teoría o paradigma (el neodarwinismo o teoría sintética) por otro que S. J. Gould ha llamado anticipadamente una "teoría jerárquica de la evolución".

El modelo neodarwinista o "sintético" que Hull ha elegido para su "teoría general de los procesos evolutivos" ha sido criticado, casi desde sus inicios, por una serie de incongruencias, y en la actualidad existen numerosas hipótesis que compiten con el mecanismo explicativo de la selección natural como única fuerza de la evolución. Así pues, pasemos a enumerar algunas de estas críticas formuladas contra el neodarwinismo.

4.1.1. Las críticas al programa adaptacionista, la genética de poblaciones y el gradualismo.

La teoría neodarwinista o teoría sintética de la evolución debe su origen tanto al reconocimiento de la selección natural como mecanismo "principal" de la evolución (Gould, 1980), como a la reconciliación de este con la genética mendeliana y el rechazo a la herencia de caracteres adquiridos.

No es el objetivo de este trabajo -ni mucho menos- la reconstrucción de la conformación de esta teoría sintética que ocurre desde finales de los años treinta hasta los cincuenta, pero se hace necesaria una breve reseña:

En 1937 Theodosius Dobzhansky publica su libro Genetics and the origin of species en el cual, interpretando y aún

"traduciendo" para los biólogos las complicadas matemáticas de los genetistas de poblaciones (Fisher, Haldane y Wright), reconoce la importancia de las mutaciones pequeñas y de la variabilidad que se hace patente al estudiar poblaciones de individuos de una misma especie. Según Dobzhansky, algunas de esas mutaciones conferirían una cierta ventaja adaptativa a sus portadores, quienes sobrevivirán y dejarán mayor descendencia relativa, explicándose así tanto el hecho de la adaptación de los organismos al medio, como el mecanismo del surgimiento de nuevas especies, de manera paulatina conforme se modifica la representación de ciertos genes en una población.

Este libro representó, pues, un puente entre los complicados cálculos de la genética de poblaciones, y el resto de biólogos, como el sistemático y también filósofo de la biología Ernst Mayr. En 1942 Mayr publica Systematics and the origin of species, donde da cuenta tanto del concepto biológico de especie (conjunto de poblaciones naturales que forman una comunidad reproductiva única y aislada de otras comunidades parecidas), como del hecho de la variación geográfica y la noción de especiación alopátrica. Con estos elementos y los aportados por Dobzhansky, Mayr deduce que la producción de nuevas especies procede, casi siempre, por la formación de una barrera geográfica que aísla a una población del resto de la especie; la población así aislada se encontrará en condiciones ambientales diferentes a las del resto de la especie, y contará con una representación azarosa del acervo genético de esta. De esta manera, la selección natural operará de manera diferenciada y gradual, seleccionando a los organismos que porten características ventajosas, y este mismo proceso de adaptación paulatina generará mecanismos de aislamiento

reproductivo con respecto al resto de la especie original. De modo que, aún desapareciendo la barrera geográfica que originalmente las mantenía separadas, ya no habrá posibilidad de reproducción entre ambas, habiéndose generado, por definición, una nueva especie.

También la paleontología apoyó este mecanismo de selección natural gradual que desemboca en la aparición de nuevas especies. G. G. Simpson publica en 1944 Tempo and Mode in evolution, libro en el cual apoya con datos paleontológicos la noción de Dobzhansky de que son las variaciones pequeñas entre los individuos de una población, los que producen los cambios graduales -por sustituciones génicas- que conducen a la formación de nuevas especies.

Un Congreso en Princeton en 1947 da forma a esta "Teoría Sintética" (como primero la llamó Haldane), y enuncia los principios generales o "nucleo duro" (genéticos, gradualmente adaptativos, etc.) con que habría de regirse la investigación en evolución. Sin embargo, por lo menos desde 1957, surgen controversias y "anomalías" en torno a esta Síntesis: en ese año Haldane enuncia lo que será conocido como "dilema de Haldane", el cual básicamente consiste en señalar una contradicción patente entre los modelos matemáticos de la genética de poblaciones y la teoría de formación de especies por selección natural gradual.

Según los cálculos de Haldane la formación de una nueva especie a partir de otra no puede ocurrir por la sustitución de más de una docena de genes, ya que la disminución de la población que ocurre cuando se selecciona un grupo de alelos ventajosos

pero se elimina -por tanto- otro que era el mas común conduciría a la extinción de la especie.

Desde entonces numerosas explicaciones o hipotesis auxiliares se han propuesto desde la perspectiva de la selección natural para intentar explicar esta anomalía. Sin embargo -como reconoció el propio Dobzhansky- la mejor explicación provino de una teoría ajena al seleccionismo: la teoría de la evolución de N. Kimura, quien propuso que, en efecto, la formación de una especie a partir de otra debe ocurrir por la sustitución de un número muy pequeño de genes "esenciales" (por ejemplo, de tipo regulador), como de hecho parece demostrarse en la gran similitud que presentan los genomas de especies cercanas, y que el resto de los genes de esa nueva especie pueden pasar intactos en el proceso de sustitución ya que son "selectivamente neutros". Es decir, la teoría neutral de la evolución sostiene que la inmensa mayoría de los genes de un organismo no son seleccionados, sino sustituidos al azar, ya que la adaptación que confieren no es muy diferente (ni positiva ni negativamente) entre si. Así pues, la única explicación posible al dilema de Haldane consiste precisamente en restarle importancia al mecanismo de la selección natural para la gran mayoría de los genes de un organismo o población.

El siguiente problema relacionado con la genética de poblaciones consiste en el hallazgo de una gran variabilidad genética en las poblaciones, prácticamente incompatible con el principio de la selección natural. La genética de poblaciones predecía -mediante sus complicados cálculos matemáticos- que las poblaciones debían tender a la homocigocis en todos sus genes, ya

que a lo largo del tiempo se seleccionarían tan solo las características mas ventajosas, es decir, las que le confieren al organismo el ser "mas apto".

Sin embargo, no solo se encontró que en las poblaciones naturales la heterocigosis está muy extendida, sino que existe un gran polimorfismo y una variabilidad muy grande en todas las características específicas. El mecanismo de la selección natural puede explicar parte de esa variabilidad (mediante el mecanismo de la superioridad del heterocigoto, o la noción de que el polimorfismo es adecuado a la multitud de microhábitats de una especie), pero no toda, y el principio de la "supervivencia del más apto" queda relativizado, ya que no es del todo claro cual de todos los alelos o formas genéticas actualmente presentes es la más apta.

Con respecto, precisamente, a las críticas al programa adaptacionista, Lewontin y Gould han formulado la idea - congruente con el neutralismo de Kimura- de que no todos los caracteres de un organismo son adaptativos (19), idea que ha derivado del "endurecimiento de la síntesis evolutiva" (Gould, 1980), la cual ha abandonado el pluralismo de mecanismos que Darwin proponía para explicar la evolución orgánica. Además, tiene importancia fundamental la idea actual de algunos autores de que la selección natural de tipo gradual que actúa sobre una variabilidad puntual solo puede conducir a una mayor adaptación del organismo con el medio, pero no a la formación de nuevas especies .

De hecho, el fenómeno de la especiación ha sido uno de los mas debatidos entre los evolucionistas. Se han propuesto una serie de

mecanismos de especiación de tipo saltacional y/o azaroso que parecen tener bastante fundamentación y que, evidentemente, representan "anomalías" para la Síntesis Evolutiva. Estos nuevos -y viejos- modelos incluyen a la especiación por "revoluciones genéticas", que se puede lograr sin alterar a más de una docena de genes (como lo requiere el dilema de Haldane), la especiación por poliploidía en vegetales, por reordenación cromosómica (que podría ser el caso del origen de la especie humana), y muchas otras (Ruiz, 1990).

Carson ha propuesto, por ejemplo, en base a sus estudios sobre las revoluciones genéticas, que los organismos constan de dos sistemas genéticos: uno "abierto" a la selección natural y, por lo tanto, a la adaptación, y otro conservador y "cerrado" a la selección natural, que cambia solo por procesos saltacionistas y es el que da origen a la especiación (1975).

Asimismo, la paleontología no podía ser la excepción. La interpretación del registro fósil inaugurada por Simpson ha sido criticada formalmente a partir de 1972 por Gould y Eldredge, quienes afirman que este registro fósil muestra largas etapas de stasis en las que las especies no muestran modificaciones, las cuales se ven interrumpidas por "saltos" o sustituciones rápidas de una especie por otra en esa área geográfica. Así pues, el tiempo y modo de Simpson, paulatino, estable y gradual, es criticado e interpretado como una secuencia de stasis y saltos conocida como "equilibrios intermitentes". Pero, además, la sustitución repentina de una especie por otra es explicada en este modelo por la especiación múltiple en varias áreas geográficas (sin favorecer ningún mecanismo de especiación, pero

siendo compatible con el modelo alopátrico), y la sustitución de la especie original por alguna de estas especies recién aparecidas y que colonizan su territorio; de modo que el proceso que tiene lugar es el de una selección a nivel de especies, no de individuos. Esta selección a nivel de especie también es capaz de explicar de manera suficiente y no ortogenética o teleológica el fenómeno de las "tendencias evolutivas": estas no serían mas que el producto de la selección de especies bajo presiones selectivas mantenidas durante largos periodos de tiempo, y no a la acumulación gradual de la evolución de un caracter en un solo sentido.

Así pues, según Gould (1980), la teoría neodarwinista se encuentra en crisis en dos de sus afirmaciones esenciales: el extrapolacionismo o idea de que la microevolución (variabilidad puntual, adaptacionismo) y la macroevolución (especiación) se encuentran acopladas, y la noción de que la selección natural es practicamente el único mecanismo de evolución.

Independientemente de la postura que se asuma ante cada una de las controversias recién presentadas, queda claro que la teoría evolutiva neodarwiniana ha sido criticada en todos y cada uno de sus fundamentos: la genética de poblaciones, la casi exclusividad de la selección natural como mecanismo evolutivo, el gradualismo, los mecanismos de evolución, etc.

Por si fuera poco, también existen una serie de controversias en torno a los llamados niveles de selección. En efecto, la investigación evolutiva tradicional parece abocarse exclusivamente a la evolución de los animales y, en especial, de

los vertebrados; en ellos efectivamente son en general los individuos quienes parecen "luchar" por su sobrevivencia y sufrir la reproducción diferencial. Así pues, teníamos la consigna de que "los genes varían, los individuos son seleccionados y las especies evolucionan". Se asignaba estrictamente una entidad o jerarquía biológica a cada parte del proceso.

Sin embargo, un análisis más detallado comenzó a expresar las dificultades existentes para definir a los organismos "coloniales", desde una colonia de protozoarios o corales hasta un árbol, y el lenguaje biológico comenzó a reconocer estas dificultades desarrollando los conceptos de "ramet", "genet", etc. Asimismo, el desarrollo de la etología demostró que difícilmente los individuos luchan aisladamente por su sobrevivencia; en general los organismos adoptan diversas organizaciones que les permiten aumentar su adecuación, tales como las hordas de mamíferos o las "sociedades" de insectos.

El primer intento (Wilson, 1975) consistió en otorgar a las agrupaciones de organismos la posibilidad de actuar como unidades de selección; sin embargo ello no era una salida neodarwinista ortodoxa ya que parecía sugerir que la selección natural podía actuar "por el bien del grupo", siendo que una de las características fundamentales del darwinismo es su antiteleologismo y su referencia concreta a entidades materiales (como los organismos). Estaba en cuestión, en el fondo, el hecho de si las agrupaciones podían contarse también como entidades materiales, es decir, como individuos.

Este punto fué retomado, por un lado, por Eldredge y Gould en su consideración de que las especies biológicas pueden ser caracterizadas como individuos con existencia objetiva y, por lo

tanto, pueden ser seleccionados como un todo. Pero desde un punto de vista casi opuesto, fué criticado proponiendo en la etología evolutiva la noción de adecuación inclusiva (Hamilton, 1964), cuyo objetivo, como veremos, fué rescatar la noción de que, en el seno del comportamiento, lo que se elecciona en última instancia son los individuos.

La utilización de Hull de las definiciones generales de Dawkins y de la caracterización de Lewontin indican, por un lado, la aceptación de la discusión central e torno a los tiempos, modos y niveles jerárquicos en que ocurre el proceso evolutivo, sin embargo, su preferencia por cierto grupo de conceptos - especialmente el de adecuación inclusiva y los de competencia inter e intradémica- nos puede revelar con mayor sutileza la ubicación de Hull dentro de la teoría evolutiva contemporánea.

4.1.2 La utilización de Hull de algunos conceptos biológicos.

Hull ha optado por un enfoque social de la ciencia, que pueda superar -como vimos en el capítulo I- tanto a una versión individualista-logicista de la ciencia, como a una social-determinista y relativista. Para ello se ha centrado, especialmente, en las unidades de trabajo científico conocidas como "grupos de investigación" que transmiten determinados

linajes conceptuales, así como en la interacción entre diferentes grupos de estos.

Hull asume que el comportamiento de los individuos dentro de esos grupo, así como el de los grupo en sí, debería explicar las características tradicionalmente ligadas a la ciencia, tales como su adhesión a las reglas de la evidencia y la razón, la "honestidad" general de la comunidad científica y el éxito comprobable de la empresa científica para alcanzar sus metas. Para ello Hull elegirá situarse en la corriente -hoy en día mayoritaria- que utiliza el concepto de adecuación inclusiva y sus consecuencias. Citando a Hamilton dice Hull: "...un organismo debe comportarse de manera que incremente su adecuación inclusiva. Debido a que organismos relacionados contienen duplicados de los genes de cada uno, se deberían esperar grados variables de cooperación entre parientes genéticos" Hull, p.432). Fenotípicamente la cooperación que existe entre organismos, pues, se encontrará en relación proporcional al porcentaje de genes que compartan los individuos involucrados. En el caso de la ciencia la cooperación será mayor entre los interactores (muchas veces los científicos) que pertenezcan o compartan un mismo linaje. Así, el comportamiento (fenotípico) de los interactores (organismos y científicos, así como grupos de estos) será "altruista", mientras que el genotipo será en realidad "egoísta".

En el caso de organismos que no se encuentran emparentados el mecanismo análogo propuesto por Trivers (1971) es el del "altruismo recíproco", el cual -basado en la teoría matemática de juegos- asume una base genética del comportamiento para explicar cómo es que organismos que son incapaces de realizar una

deliberación conciente puedan ayudar a otro "en espera" de su reciprocidad futura. Para el caso del cambio conceptual Hull también se apoya en este concepto, específicamente para explicar la actitud, generalmente honesta de los investigadores al dar crédito a sus colegas, para de ese modo apoyar su propio trabajo en el prestigio de otros y en espera de una reciprocidad en las citas.

Ahora bien, si hemos de hablar de "linajes conceptuales" valdría bien ubicar el linaje al que pertenece el propio Hull. Los conceptos de adecuación inclusiva y altruismo recíproco son aceptados por un gran número de biólogos evolucionistas, y cuentan con un alto "status" dentro de las nuevas ideas en torno a la evolución. Entre sus principales defensores se encuentran los grupos y científicos que forman parte del programa de investigación de la sociobiología. Hull no sólo se adhiere a la conceptualización de Dawkins (uno de sus miembros sobresalientes) sino que la utiliza explícita y positivamente, en el grado más alto en el que -según su propio modelo- se puede dar crédito a los puntos de vista de otro científico. Y el mismo Dawkins declara, citado por Hull, que "Hamilton es el 'genio fundador' de la sociobiología, especialmente en conexión con la importancia de una perspectiva evolutiva centrada en el gene".

No olvidemos que el concepto de adecuación inclusiva de Hamilton aparece como respuesta al problema del comportamiento altruista desde una perspectiva individualista -y geneticista-, contraria a una perspectiva de una selección a nivel de grupos. De este modo a pesar de su aceptación formal de la polémica, Hull demuestra al linaje al que pertenece por medio de su particular

"recombinación conceptual".

Por su parte, Lewontin, Rose y Kamin (1984?) han desarrollado una crítica -aún parcial- de este programa de investigación (Suárez, 1991). Los conceptos de adecuación conceptual y altruismo recíproco suponen, en primer lugar, el carácter genético del comportamiento, pero esto de ninguna manera se encuentra cerca de estar demostrado. Por un lado tenemos la confusión resultante de la dificultad de separar el comportamiento de origen genético y el de origen innato; este último podría ser un desarrollo ontogenético que apareciera tan temprano en la vida de un organismo como para parecer que es hereditario. Por otra parte no debemos olvidar que en muchos organismos el desarrollo ontogenético prosigue después de la etapa del nacimiento, estableciéndose nuevas y diversas conexiones nerviosas que pueden depender más de la influencia del medio ambiente que de una determinación genética.

En segundo lugar, se asume -en contra de toda la evidencia presente- que el comportamiento es un carácter que puede ser rastreado a uno o unos pocos genes del organismo. Sin embargo el comportamiento -como demuestra la etología- no es un carácter (palabra que tiene una connotación pasiva o de "cosa"), sino un proceso complejo que, además, es moldeado conforme transcurre el desarrollo del organismo, y que en algunos casos el aprendizaje es parte central de este desarrollo. Y, en tercer lugar, la propia biología molecular ha demostrado que los genes codifican la producción de moléculas proteínicas o de otros ácidos nucleicos con funciones altamente específicas, o la producción de proteínas y/o efectos reguladores del genoma. Entre más se desarrolla la biología molecular más evidente se hace la fina

sintonización de la regulación del genoma de cualquier organismo para hacer frente a las distintas etapas de desarrollo y a las circunstancias ambientales. La regulación génica, que es el mecanismo por el cual se pueden alterar varias funciones altamente específicas a la vez en el interior celular, depende asimismo de las condiciones intra y extracelulares. Por sí fuera poco se añade complejidad con los descubrimientos más o menos recientes de los minigenes, el funcionamiento de sistemas selectivos en la genética de los sistemas inmunológicos y la presencia de intrones en los genes. De manera que en el nivel más fino de las explicaciones biológicas -el molecular- observamos de nuevo la constante interacción gen-ambiente, no el determinismo genético y, lo que es más importante, el hecho de que no se puede ver cómo es que la labor específica de los genes que a la fecha se conocen puede traducirse en una conducta tan completa como la defensa de las crías ante un agresor, por poner un ejemplo. De un producto génico a un comportamiento específico y complejo hay una brecha gigante que -para efectos prácticos- no puede aún ni siquiera señalarse; dicha brecha es tan grande, por lo menos, como la existente a principios de siglo entre la definición mendeliana-clásica de "gene" y la presencia de un carácter "simple", misma que ha venido a llenar -poco a poco- la biología molecular.

En tercer lugar tenemos que ni la adecuación inclusiva ni el altruismo recíproco han sido jamás contrastados empíricamente. Ambos conceptos han sido de una gran utilidad heurística en la genética de poblaciones y la etología evolutiva, sin embargo, según Lewontin, Kamin y Rose (1984) no existen suficientes investigaciones que los pongan a prueba directamente. No se ha

medido en una población el porcentaje de cooperación en relación a la cercanía del parentezgo, ni el porcentaje de respuesta recíproca positiva que recibe un organismo después de haber salvado a otro, ni mucho menos el porcentaje de ausencia de esta ayuda cuando un organismo la merecía específicamente de otro -no de cualquiera otro de su grupo. Debe entonces preguntarse uno cómo es que esos conceptos gozan de tan elevado status científico; y la respuesta podría incluir desde la alta matematización de los conceptos (indisolublemente ligada al prestigio de cualquier teoría en la configuración actual de la ciencia), y al mencionado valor heurístico, hasta el peso político y social adquirido por la sociobiología en la década pasada, tanto dentro de la comunidad científica como en un contexto más general.

A todo ello podemos añadir la siguiente consideración: el concepto de adecuación inclusiva surge en la biología como un intento explicativo contrario al de la selección a nivel de grupos, sin embargo su utilización -hasta la fecha- ha sido en un plano meramente descriptivo. A pesar de ello ha ganado gratuitamente el status de mecanismo explicativo y, más aún, de existencia ontológica. La crítica de Lewontin, Kamin y Rose acerca de la determinación genética del comportamiento demuestra que no existen suficientes argumentos y evidencias para hacerlo así.

Por último, Hull mismo acepta que "a pesar de que la adecuación inclusiva puede explicar solamente un pequeño porcentaje [¿exactamente cuál?] del comportamiento cooperativo entre los organismos, ha jugado un papel [...] importante en la reciente excitación de la biología evolutiva" (p.433).

La pregunta aquí es: ¿porqué Hull utiliza un concepto de la biología que él reconoce como altamente especial para explicar prácticamente la totalidad de la práctica en la ciencia moderna? La respuesta deberá considerar que el único "linaje conceptual", dentro de la biología, para el cual los conceptos de adecuación inclusiva y altruismo recíproco son esenciales, es la sociobiología.

El siguiente grupo de conceptos de la biología evolutiva que Hull utiliza para describir el cambio conceptual es el referente a las unidades de transmisión o replicadores. Los replicadores biológicos por excelencia son los genes (si bien en diversas circunstancias otras entidades pueden perpetuar su estructura al paso de las generaciones). En biología los organismos y las poblaciones comparten no un número dado de genes, sino recombinaciones de los alelos de cada uno de los genes de la especie y que están presentes en la población. Según Hull también en la ciencia cada uno de los interactores -individuos o grupos- contiene una combinación específica de las formas -alelos- en que se encuentran los replicadores conceptuales, siendo estos los objetivos, ideas, métodos, y datos de una disciplina, cuya suma total nos daría el "pool conceptual" de esta; análogicamente observamos que la variabilidad conceptual es como la biológica, ya que no encontramos dos científicos que sostengan la misma combinación de replicadores conceptuales ni la misma opinión respecto a un solo problema, siendo la diferencia más grande entre más distantes sean los linajes conceptuales a los que cada uno pertenece.

Los organismos que pertenecen a un mismo demo comparten el mismo pool genético; si bien ocasionalmente ocurre cruzamiento con miembros de otros demos, estos demos no son realmente panmícticos. Sin embargo, el aislamiento entre demos es suficiente como para jugar un papel importante en la evolución biológica (por ejemplo, en la teoría del shifting-balance de Wright). Para el cambio conceptual ello explica, según Hull, la existencia de conocimientos, datos, ideas, etc., propios de un solo grupo (por ejemplo, vimos como para Watson era conocido el trabajo de Pauling-Delbruck que fundamentaba físicamente la complementariedad, mientras que Crick no tenía idea de su existencia), así como la utilización de los conceptos, ideas, métodos, o estrategias de otro grupo de investigación o demo, cuando ello es pertinente a la investigación.

Pero lo importante de la estructura démica de la ciencia, según Hull, es que promueve la competencia. Los científicos son miembros de una cultura, y como tal el éxito logrado en esta actividad tiene consecuencias benéficas. El éxito -como en la evolución biológica- debería medirse por el número de replicadores que cada interactor es capaz de transmitir diferencialmente a la siguiente generación, auxiliado especialmente por el "mecanismo" de la adecuación inclusiva conceptual, que consiste en formar a un buen número de estudiantes bajo la perspectiva propia [2]. Si los replicadores de la ciencia "son los elementos del contenido sustantivo de la ciencia: creencias acerca de los objetivos de la ciencia, formas adecuadas de realizar estos objetivos, problemas y sus soluciones posibles, modos de representación, datos acumulados, etc."(p.434), entonces estos son precisamente los que busca

transmitir un científico a sus discípulos. Para ello será de fundamental importancia cumplir con un cierto número de criterios considerados típicamente científicos (rigurosidad, relevancia empírico-teórica, contrastación "objetiva"...) y contar con una posición política adecuada en la comunidad científica, es decir, contar con una "cuota de poder" dentro de los círculos propios de la comunidad. Ello no implicará que estas posiciones sean absolutamente determinantes en la aprobación de una teoría o postura -todo es una cuestión de relaciones de poder entre los diferentes grupos adheridos a diferentes linajes-, pero sí facilitará la difusión, discusión e, incluso, la aceptación más fácil de los artículos escritos cuando el consejo editorial de una revista, por ejemplo, sea favorable al linaje conceptual del autor. Obviamente todas estas labores -en gran parte administrativas- no pueden ser cumplidas por un solo científico, y es ahí donde la organización en grupos es central: lo importante será que los miembros del grupo propio compartan terreno en estas relaciones y posiciones clave, tales como las presidencias de las sociedades científicas, los consejos editoriales de las revistas especializadas, los consejos de las universidades y las asesorías a instituciones extracientíficas.

4.2 El papel del reduccionismo en el discurso biológico

Uno de los problemas más debatidos dentro de la filosofía de la biología es, sin duda, el del reduccionismo. En realidad no se trata de un solo problema ya que la palabra es usada en muy diferentes contextos, significando desde una relación rigurosamente lógica entre dos ramas del conocimiento, hasta un adjetivo político y con tinte peyorativo. En su acepción más común denota una relación mas o menos formal en la que se pretende que una disciplina o area del conocimiento con carácter "complejo" sea explicada por los métodos y principios de otra disciplina considerada como más "básica" o "universal".

La biología y la filosofía de la biología son un campo extraordinariamente propicio para que se desarrolle la discusión entorno al reduccionismo, en gran parte debido a la especial "ubicación" de sus objetos de estudio en una -real o imaginaria- "estructura jerárquica del universo". Esta "estructura", que va de lo más simple e inanimado -la materia física- a lo más complejo y autoconciente -el ser humano y la civilización- pasa forzosamente por la mediación de la materia viva. De modo que al encontrarse entre los dos extremos, la biología y la vida pueden ser objetos o "víctimas" del reduccionismo (al intentárseles reducir a la física y la química), o sujeto o "ejecutor" del mismo (al perseguir la reducción de lo específicamente humano a su propio campo).

Tal vez también por esta "ubicación" particular es que especialmente a partir de su nacimiento como ciencia en el siglo XIX la biología se ha dividido en dos grandes ramas con perspectivas muy diferentes: una biología de las causas próximas o inmediatas (ciencias fisiológicas en sentido laxo), y otra de las causas últimas (evolutivas) (Mayr, 1882 p.67-69). En el

momento actual observamos que la biología de causas próximas es encarnada paradigmáticamente por la biología molecular, mientras la biología de causas últimas lo es por la biología evolutiva. Los biólogos, por el simple hecho de elegir un campo de investigación estamos no solamente obligados a adoptar una de estas dos grandes perspectivas, sino a acatar las consecuencias filosóficas que supuestamente se derivan de cada una. Así, se considera generalmente que la biología molecular es una disciplina "reduccionista", mientras la biología evolutiva es una disciplina "integradora". En este, y en los siguientes apartados, intentaremos, primero, puntualizar y enriquecer las nociones vagas de "reducción" y "reduccionismo" y, segundo, analizar y cuestionar estos supuestos que se adhieren como estigmas de cada perspectiva, oscureciendo en ocasiones su carácter real.

En lo que sigue nos guiaremos especialmente por el trabajo de Sahotra Sarkar (discípulo de uno de los filósofos de la ciencia que se han ocupado más del tema, W. Wimsatt), quien en los últimos años ha tratado el tema del reduccionismo en general y del reduccionismo en la biología molecular, de una manera que nos parece pertinente para este trabajo.

Como decíamos, existe una confusión generalizada en torno al uso del término "reduccionismo". Para empezar, no se distingue entre el reduccionismo como práctica científica, es decir, como estrategia de investigación científica, y el reduccionismo como descripción de la estructura de las explicaciones (Sarkar, 1991a). Asimismo, tampoco se distingue entre los aspectos ontológicos y los epistemológicos del problema (Sarkar, 1991b). La última distinción que se pasa por alto es una que puede darse

dentro de cada una de las categorías antes mencionadas: es la distinción de Mayr (1982 p.59-63) entre reduccionismo constitutivo, reduccionismo explicativo y reduccionismo teórico.

La categoría de reduccionismo constitutivo consiste simplemente en aquellas explicaciones o nociones de reducción que requieren que todos los procesos biológicos sean consistentes con las leyes de la física; en realidad esta categoría tan solo excluye cualquier vestigio de vitalismo. El reduccionismo explicativo incluye aquellas explicaciones o nociones de reducción que requieren que los procesos biológicos sean explicados por procesos químicos y físicos subyacentes. Por último, la categoría de reduccionismo teórico incluye aquellas explicaciones o nociones de reducción que necesariamente la constituyen como una relación entre teorías.

Como se vé en lo anterior, los requerimientos de cada tipo de reduccionismo van en ascenso, siendo el reduccionismo teórico el de criterios más severos. Este último fué definido por primera vez por Nagel (1949, citado por Sarkar, 1991b), quien decía que la reducción es una especie de explicación interteórica, en la cual la teoría reducida es explicada por una teoría reductora considerada más fundamental; ello implica, minimamente, que haya una correspondencia o equivalencia entre los conceptos y leyes de la una y la otra. A pesar de estos criterios severos mucha de la discusión en torno al reduccionismo en la biología molecular ha girado en torno a este reduccionismo teórico. Particularmente relevante para este trabajo es el ejemplo de Hull (1972), quien defiende la idea de que la biología molecular no es ni puede ser reduccionista, específicamente en su relación con la genética mendeliana o clásica. Según Hull la idea de que la genética

clásica puede ser reducida a los principios de la biología molecular es errónea, pero si utilizamos la clasificación de Mayr y Sarkar nos damos cuenta de que el reduccionismo en el que está pensando Hull es de tipo teórico y que sus argumentos no alcanzan al reduccionismo explicativo y mucho menos al constitutivo.

Para Hull la reducción de la genética a la biología molecular es una operación estrictamente lógica que no puede ocurrir, especialmente porque las entidades, conceptos, leyes y objetivos de la genética clásica no son perfectamente equivalentes a los de la biología molecular. Así, tenemos que la biología molecular es una disciplina que combina el estudio de la generación, expresión, transmisión y desarrollo de los caracteres genéticos, mientras la genética clásica se ocupa solo de la transmisión (las leyes de Mendel), de manera que, por ejemplo, el concepto de "gen" mendeliano se superpone o es equivalente en ciertos aspectos al de "gen" molecular, tal como la necesidades de autorreplicación, pero en cambio las complejidades de la transcripción y la traducción del DNA son irrelevantes (Hull, 1972).

Si bien Hull es uno de los filósofos de la biología que han tratado con mayor profundidad el problema (1972, 1974, 1978a, 1978b, 1981), el análisis de Sarkar (1991a) nos aclara su posición: al aceptar una definición del reduccionismo teórico sus criterios son estrictos y no se cumplen, sin embargo Hull reconoce un cierto "reduccionismo informal" que bajo la clasificación de Sarkar podríamos llamar una "estrategia de investigación" que busca explicar -a futuro- la relación entre la genética y la biología molecular, aún sin la certeza de poderlo lograr.

Ahora bien, si los requerimientos del reduccionismo teórico son muy estrictos, los del reduccionismo constitutivo son muy laxos y, en realidad, este reduccionismo es una condición básica de la perspectiva moderna de la ciencia; las leyes de la biología deben ser compatibles con las de la física y la química, a riesgo de que no se sostenga el supuesto de la universalidad de la materia y sus leyes. Nos queda, pues, profundizar en el reduccionismo explicativo.

4.2.1 Reduccionismo y Biología Molecular

Antes de abordar el tipo de explicaciones comunes a la biología molecular, comencemos por analizar sus estrategias de investigación.

En la historia de la biología molecular, tal y como es referida por algunos de sus participantes prominentes (especialmente Stent, 1966, 1968, 1978) ha sido introducido un énfasis parcial y artificioso en los aspectos antirreduccionistas de dicha estrategia. En efecto, una de las raíces del pensamiento molecular en la biología la encontramos en la línea trazada por Bohr, Delbruck y Schrodinger, tres proponentes que -cada uno a su manera- se oponían por principio a una interpretación mecanicista de las leyes de la biología, especialmente en base a su propia experiencia en la revolución de la mecánica cuántica.

Más específicamente aún, el personaje central del grupo del

fago, Max Delbruck, persiguió durante toda su vida un objetivo claramente antirreduccionista: la búsqueda del principio de complementariedad. Este principio era definido por Delbruck como "los supuestos que son necesarios para la existencia de una causalidad de los fenómenos biológicos que puede parcialmente contradecir las leyes de la física y la química, porque los experimentos con los organismos vivos son ciertamente complementarios a aquellos que determinan los eventos físicos y químicos en el nivel atómico" (Fisher y Lipson, 1988 citado por Sarkar, 1990 p.614). La búsqueda sostenida de este principio da unidad a la vida científica de Delbruck; el modelo de doble hélice del DNA echó por tierra, por primera vez, esta "esperanza" de ver algo similar a la complementariedad, pues se atenia de manera sencilla a las leyes de la física y la química y, sin embargo, explicaba cualidades biológicas fundamentales como la conservación de la información hereditaria, la mutación y la autorreplicación del gen. Dice Delbruck: "De hecho podemos decir que el descubrimiento de la doble hélice del DNA en 1952 [sic] hizo por la biología lo que muchos físicos habían esperado en la física atómica: una resolución de los milagros en términos de modelos mecánicos clásicos, que no requerían una abdicación de nuestras expectativas intuitivas acostumbradas" (citado por Sarkar, 1990 p. 614).

Posteriormente las otras dos investigaciones en las que Delbruck se comprometió en su vida, buscando explícitamente el principio de complementariedad, también fracasaron: el intento de encontrar este principio en la relación entre el mapa genético y el mapa físico de una hebra de DNA (la cuestión era si ambos mapas eran consisentes o no), y la investigación acerca de la

respuesta al estímulo en el hongo unicelular Phycomyces en donde, para ser justos, aún no existe una explicación físico-química.

Así pues, de lo que podemos estar relativamente seguros es de que la vida de Max Delbruck se guió por la búsqueda de la complementariedad. La pregunta es ¿qué relevancia tuvo esto para la estrategia de investigación del grupo del fago y de la biología molecular en general? A la fecha, parece ser que el único miembro del grupo del fago a quién motivó esta búsqueda fué a Gunther Stent, discípulo directo de Delbruck. En cambio, a otros miembros prominentes del grupo como Alfred Hershey les incomodaba todo "ese chismorreó sobre la complementariedad". Como hemos visto, ni Luria ni Watson parecen haber sido alguna vez motivados por la idea. Así pues, la importancia de Delbruck hay que ubicarla en otro sitio. Su carrera, vista bajo sus propios criterios, fué un fracaso; sin embargo sus aportaciones centrales -que hoy en día nos parecen poco- consistentes en el desarrollo de la técnica de la cuantificación viral (Delbruck y Ellis, 1939) y en el desarrollo de la prueba de la fluctuación (Luria y Delbruck, 1943), fueron de suma importancia en su contexto histórico, estableciendo no solo nuevos métodos y técnicas, sino nuevos estándares de calidad en la investigación biológica.

Tenemos, en segundo lugar, un ejemplo temprano de estrategia de investigación antirreduccionista, en el intento fallido de Conrad Waddington, Joseph H. Woodger, Joseph Needham y John D. Bernal por crear un Instituto de Morfología Matemático-Físico-Química en la Universidad de Cambridge con fondos de la Fundación Rockefeller en 1935. A pesar de que el proyecto no fué considerado "inversión segura" por la Fundación -en gran parte

debido a las enemistades de tipo político que rodeaban a este grupo-, este contemplaba una concepción de la biología molecular bastante superior al de Atsbury y Pauling en ese tiempo (Abir-Am. 1982a p.361-366). El grupo creía que la física cuántica y sus ideas acerca de la organización atómica y de los sistemas, así como una cierta idea del "todo", contribuirían a minar una noción mecanicista tradicional de la biología; además esperaban minimizar "la amenaza del reduccionismo" (p. 361). Si bien buscaba redefinir el orden biológico en términos moleculares, el problema biológico central era el de la organización, y como grupo sus intereses iban desde los cristales de J. D. Bernal hasta los tejidos de Waddington y Needham [3].

Por último, tenemos otro ejemplo de estrategia antirreduccionista an la biología molecular: los intentos teóricos por descifrar el código genético en los 50's, los cuales fueron guiados por supuestos acerca de un almacenamiento eficiente y una transmisión de la información bastante lejanos de consideraciones físicas y químicas. Estas consideraciones teóricas llevadas a cabo por Gamow, Crick, Ycas, Golomb, Rich y otros fueron abandonadas en los 60's cuando el enfoque experimental demostró que eran incorrectas (Sarkar, 1989). Debido a que nuestra reconstrucción histórica concluye en 1953, no desarrollaremos este tema.

Resumiendo, tenemos en la biología molecular algunos casos de estrategias de investigación antirreduccionistas, sin embargo todos han tenido un carácter restringido a unos cuantos individuos y, además, todos han fracasado en sus expectativas. En

cambio, la estrategia de investigación reduccionista parece tener bastante vigor a lo largo de toda la historia de la disciplina. Pasemos, ahora, a considerarla junto con la naturaleza de las explicaciones de la biología molecular.

La estrategia de investigación y la naturaleza de las explicaciones en la biología molecular obviamente acatan el reduccionismo constitutivo, mientras que no es tan claro que tengan éxito en la reducción teórica de otras disciplinas a sus conceptos, métodos y leyes. Pero en lo que no podemos negar éxito a la biología molecular es en su capacidad para proporcionar explicaciones físicas y químicas de los fenómenos biológicos. Y si bien la complejidad de algunos de estos fenómenos sugiere un fuerte limitante, no supone de inmediato la imposibilidad de que se sigan efectuando dichas explicaciones. Prácticamente todos los fenómenos de la replicación genética y la síntesis de proteínas han sido abordados exitosamente por este tipo de estrategia y de explicaciones, así como los fenómenos complejos de la regulación génica y la respuesta inmunológica. Ahora bien, si los fenómenos neurofisiológicos y del desarrollo parecen fuera de alcance por el momento, tampoco hay evidencias para considerarlos infranqueables. En todo este cúmulo de medio siglo de conocimientos las explicaciones de los mecanismos son todas del tipo del reduccionismo explicativo.

Sin embargo "existe una clase de explicaciones dentro de la biología molecular llamadas explicaciones funcionales, cuya estructura no puede ser capturada por ningún modelo de reducción..."(Sarkar, 1991a p.5). Para facilitar las cosas podemos decir que las explicaciones funcionales de la biología se

distinguen de las explicaciones causales más comunes porque hacen referencia al proceso evolutivo, a los orígenes, o a la historia de un fenómeno. En general responden a las llamadas "cuestiones de origen" (p.8-9).

Las explicaciones funcionales son minoría en la biología molecular, sin embargo se refieren a aspectos considerados fundamentales por la comunidad científica y, en general, se abocan a algunos de los objetos de estudio más apasionantes tales como el origen del código genético, el origen de las propiedades del código, el origen de las diferencias entre DNA y RNA, etc. El problema -para quien desea proporcionar una explicación reduccionista a ellos- es que la teoría de la selección natural que obviamente se requiere para resolverlos obviamente no es una teoría física ni química. Existe, de hecho, bastante controversia acerca del tipo de estructura de la teoría de la selección natural, y al momento actual (y tal vez esencialmente) no es posible reducirla a explicaciones físicas y químicas.

Así pues, para concluir tenemos que la biología molecular aporta explicaciones reduccionistas en el caso de las cuestiones de mecanismos, es decir, cuando alguna característica de un organismo es estudiada con el propósito de descubrir cómo ocurre o se lleva a cabo; mientras que no existen aún explicaciones reduccionistas para todo un dominio de la biología molecular: las cuestiones de origen que tratan sobre la fuente de una característica particular en los organismos.

4.2.2 La estrategia de investigación reduccionista en la Biología Evolutiva

Con la clasificación anterior de los tipos de reduccionismo el título de este apartado indica a donde queremos llegar. Como hemos visto, a la fecha, y posiblemente por la misma naturaleza del fenómeno evolutivo, las explicaciones del tipo de la selección natural no pueden ser reducidas a las leyes de la física y la química. La consideración de los factores de la evolución por Lewontin (1970) incluye la sobrevivencia y la reproducción diferencial como una medida de la adecuación (y ya no de la adaptación). Además, la consideración del fenómeno histórico, no determinista, de la evolución orgánica, hace sumamente difícil imaginar cómo habría de llevarse a cabo una reducción de la teoría de la selección natural a la física y la química. Si bien en los últimos años se ha considerado la posibilidad de una teoría termodinámica de la evolución, ello no ha producido aún resultados claros (Salthe, 1985).

Sin embargo, también en los últimos quince años sentimos que hay un movimiento importante de la biología evolutiva hacia explicaciones de un nuevo tipo. De manera paralela a los debates en torno a los niveles de selección y la naturaleza del cambio biológico, se da una búsqueda de explicaciones cada vez más cuantitativas y con mayor "status científico". Lo anterior quiere decir que, bajo la configuración actual de la ciencia, una

explicación será considerada "más científica" entre más se acerque al tipo de explicaciones de la física y la química. Así, vemos la proliferación de los estudios genéticos de todo tipo en la biología evolutiva. Por un lado tenemos la adopción de técnicas y métodos propios de la bioquímica y la biología molecular para aproximarse a problemas tales como la variabilidad genética de las poblaciones, y la determinación de secuencias de aminoácidos y nucleótidos para la construcción de árboles filogenéticos. Por otra parte tenemos una conceptualización enorme de los problemas típicos en términos de los genes y de la genética de los organismos; por ejemplo, se ha eliminado prácticamente el concepto de adaptación -al medio ambiente- para sustituirse por el de adecuación -que es medible en términos de los genes representados en la siguiente generación-, y se ha enfocado el problema de la evolución del comportamiento en términos de la adecuación inclusiva y el altruismo recíproco - otros conceptos cuantitativos en términos de genes.

Ahora bien, ¿se ha logrado entonces una conversión -por lo menos parcial- al tipo de explicaciones reduccionistas dentro de la biología evolutiva? El status y la seguridad con que parece hablarse, por ejemplo, de la adecuación inclusiva como un mecanismo explicativo de la evolución del comportamiento altruista pareciera indicarlo así; sin embargo hemos señalado que -a pesar de las fanfarrias- el concepto sigue siendo sobre todo un instrumento, una idea con valor heurístico, pero que está lejos de estar demostrado como explicación de ese comportamiento y, menos aún, como mecanismo existente. Cuando menos habría de recordarse que persiste el debate entre quienes se refieren al nivel de selección individual y a la adecuación inclusiva, y

aquellos que se refieren al nivel de la selección por grupos.

Por otra parte tenemos, de nuevo, que quienes enfatizan una versión de la teoría de la selección natural en términos exclusivos de genes (entidad desconocida para Darwin) son los miembros del programa de investigación de la sociobiología. Para esta escuela el concepto cualitativo de adaptación de un organismo al medio es secundario, debido precisamente a que no es fácilmente cuantificable (y, por tanto, es "poco científico"); de esta manera surge el concepto de adecuación como central, así como las derivaciones de Hamilton (1964) y de Trivers (1971) cuando el comportamiento de los grupos de organismos parece negar el carácter determinante de los genes.

Los genes son el elemento central de este programa de investigación. Para la sociobiología estas son entidades discretas, "fácilmente" cuantificables y delimitables (aunque en la práctica raramente lo son). Por lo menos "en abstracto" los genes remiten a una entidad material, concreta y contable; además, el propio status de la biología molecular en su cercanía con la física y la química, hace deseables a los genes como objetos de una disciplina que, en ocasiones, se ha sentido avergonzada de su "escasa científicidad" y alto contenido especulativo. Situada entre las ciencias naturales y las ciencias sociales -por su carácter histórico-, la teoría evolutiva prefiere -en la perspectiva de la sociobiología- acercarse a los criterios de las llamadas "ciencias duras".

Así pues, desde una perspectiva crítica podemos señalar que las explicaciones reduccionistas de la evolución distan de ser confiables; sin embargo también hemos de reconocer que no solo los sociobiólogos sino una gran parte de los evolucionistas las

han adoptado como un hecho consumado. Y lo que definitivamente debemos aceptar como presencia notable es la estrategia de investigación reduccionista en la biología evolutiva que convive -a veces no pacíficamente- con la tradicional estrategia de investigación integrista de la biología de causas últimas. Por último, a estas consideraciones epistemológicas debemos añadir las ontológicas, pues no es casual que Dawkins afirme que "...Somos máquinas de supervivencia, autómatas programados con el fin de perpetuar la existencia de los egoístas genes que albergamos en nuestras células" (1985). Ese, sin embargo, es tema para otra tesis.

NOTAS AL CAPITULO IV

[1] Para Williams un gen se define funcionalmente en un contexto evolutivo como "cualquier información hereditaria para la cual existe una selección favorable o desfavorable igual a varias o muchas veces su tasa de cambio endógeno". Evidentemente este concepto evolutivo de gene no coincide ni con el concepto de gene molecular de la biología molecular, ni con el de gene mendeliano. Si bien una definición funcional es pertinente en su contexto, sostenemos que su introducción en la polémica en torno al seleccionismo introduce una evidente parcialidad en la discusión: si los genes se definen por su valor selectivo, entonces se realiza una eliminación ad hoc de la posibilidad de la evolución neutral.

[2] Si al finalizar el capítulo III habíamos destacado la ausencia de un verdadero carácter social en el modelo de Hull, ya que pasa por alto las particulares relaciones personales y de poder que se dan dentro y fuera de los grupos de investigación (relaciones de clase y entre los sexos), la consideración del éxito del científico que ahora nos propone destaca la ausencia de un verdadero carácter histórico de su modelo. En efecto, la necesidad de "crédito científico", y la medición -productivista- del éxito en términos del número de artículos, del número de citas obtenidas, del número de alumnos, etc. (es decir, del número de replicadores aportados a la siguiente generación), no puede ser más que la forma histórica contemporánea de reconocimiento al trabajo científico (sumamente dependiente del uso de las aportaciones cognitivas). El concepto de "éxito" y su

logro mediante la adecuación inclusiva conceptual describen por lo menos una parte del trabajo científico realizado en los principales centros de investigación del mundo -especialmente los del mundo industrializado- pero de ninguna manera explican el porqué del mecanismo y su constitución histórica, bien diferenciada de otras formas de conocimiento, existentes en diversas sociedades y tiempos.

[3] El proyecto de Bernal. Needham, Waddington y otros se inspiraba en la creación de un "nuevo orden científico", posible en la biología debido al espacio epistemológico recién creado por la física cuántica. Esperaban crear un nuevo dominio fenomenológico en el que existiera una mutua dependencia entre disciplinas físicas y biológicas. Además, la organización del Instituto que proyectaban había de manejarse cooperativamente, no jerárquicamente, con responsabilidad dividida entre los cinco Directores de investigación, que se rotarían la silla principal. En realidad el apoyo fué denegado no a causa de la Fundación Rockefeller ya que, de hecho, no existía a la fecha un proyecto que cumpliera tan oportunamente las expectativas de la Fundación y de W. Weaver, sino a que la Universidad de Cambridge no dió su aprobación. En primer lugar la reputación personal de estos investigadores como "radicales" fué una desventaja; en segundo lugar la universidad creía en su "derecho a aceptar regalos, no de solicitarlos"; y en tercer lugar la Universidad consideró la iniciativa negociadora de Needham demasiado "presuntuosa" para un oficial universitario menor, como Needham (Abir-Am 1982a p.363-364).

CONCLUSIONES

El análisis de la ciencia llevado a cabo por Hull no busca "normar" o reglamentar la práctica científica a partir de una concepción determinada de la ciencia. En este sentido su modelo no puede ser clasificado como una epistemología de tipo normativo, sino más bien como un análisis descriptivo del proceso de cambio conceptual. Así pues, como "descripción" recurre a los datos empíricos adecuados, en este caso los datos históricos.

Ahora bien, la reconstrucción histórica del desarrollo de una disciplina implica mucho más trabajo que la sola reunión de los datos en sí. Estos no significan nada si no es al contrastarlos con una teoría o hipótesis; pero al mismo tiempo sabemos que nuestras concepciones teóricas influyen en la manipulación e interpretación de estos datos y, por lo tanto, la elaboración de una reconstrucción histórica no es tarea fácil ni estrictamente empírica.

El modelo de cambio conceptual de Hull es un modelo altamente comprometido en sus afirmaciones. Ofrece una visión de la ciencia altamente competitiva, hace predicciones claras en torno al comportamiento de los científicos, y establece un lenguaje nuevo

y "audaz" (en el sentido popperiano del término) para tratar los problemas de la historia de la ciencia. Un modelo así cumple con los requisitos de una buena teoría científica establecidos por Popper: lanza conjeturas audaces y universales, y establece los puntos que, de no cumplirse, falsarían el modelo. Más aún: Hull no se conforma con su análisis descriptivo sino que propone un mecanismo explicativo del cambio conceptual. Precisamente debido a estas cualidades el modelo de Hull es adecuado para la contrastación empírico-histórica que aquí hemos realizado, y que nos ha evidenciado una serie de problemas presentes en este modelo.

En primer lugar tenemos la intención de Hull de elaborar un análisis de la ciencia como "institución social" que, sin embargo, queda como un proyecto realizado solo a medias, en el cual la "frontera" entre los elementos sociales relevantes y los que no lo son parece arbitrariamente definida una vez que consideramos detenidamente nuestra reconstrucción histórica. En efecto, Hull reconoce algunas de las características de la organización moderna del trabajo científico (por ejemplo su división en grupos o departamentos, la competitividad entre científicos y grupos, la importancia de la transmisión de ideas...) sin embargo deja de considerar aspectos que son relevantes -como hemos señalado- al funcionamiento de la ciencia y que se localizan dentro y fuera de la comunidad científica.

Dentro de la comunidad quizá el más importante sea la división del trabajo de investigación y la estratificación de los trabajadores científicos, mismas que han sido ampliamente documentadas por la sociología de la ciencia y que, en nuestro

caso, explican la intervención de los físicos en los problemas de la biología -es decir, uno de los contenidos básicos del conocimiento en la biología molecular. Por otra parte, fuera de la comunidad científica tenemos la importancia central del desarrollo tecnológico para la elaboración de propuestas teóricas, a su vez estrechamente relacionado a fenómenos macroeconómicos, así como la pregunta respecto al por qué de la específica organización social de la ciencia que retrata Hull.

Esto último nos lleva a un segundo problema: la ausencia de un auténtico análisis histórico, que se pregunte por las causas de la especificidad de esta organización del trabajo científico. En efecto, una de las características más visibles del modelo de Hull es el hecho de que se limita a describir el desarrollo de la ciencia tal y como se practica hoy en día en los países industrializados y en los centros de investigación avanzada alrededor del mundo. Para decirlo pronto, el suyo es un modelo tremendamente localista (espacio-temporalmente), que si bien no pretende describir el desarrollo del conocimiento en otras sociedades históricamente dadas, sí supone que cualquier [sic] sistema de desarrollo del conocimiento que se apegue a sus características generales será más eficiente y productivo. Ello tiene a su vez varios efectos: a) produce la ausencia de un carácter histórico real del mecanismo selectivo que propone; la ciencia evoluciona, pero el mecanismo en sí parece algo inmutable o esencial; b) debido a ello se generaliza un criterio propio de la ciencia moderna para calificar a otros modos de conocimiento; en especial el éxito científico se mide en base a la productividad de este tipo de trabajo, en una forma adecuada a

las exigencias de la sociedad moderna, pero a la que totalmente se le escapa la existencia -y validez- de criterios de conocimiento distintos; c) precisamente por esta ausencia de carácter histórico se es acrítico con la forma actual del trabajo y desarrollo científico; se describe a la ciencia como actualmente es, sin poderla estudiar desde una perspectiva diferente a aquélla a la que nos condena el empirismo histórico; así, por ejemplo, se establece que la competitividad y el elitismo son caracteres inherentes al trabajo científico.

La flexibilidad y la originalidad de las explicaciones de tipo selectivo conduce a la identificación de éstas con el mecanismo de la selección natural, específico de la evolución biológica. Es decir, se considera que este tipo de explicaciones, que no son ni estrictamente causales ni descriptivo-generales (Martínez, S. 1992), deben hermanarse por completo con la explicación selectiva más exitosa que se conoce: la de la selección natural. Al hacer esto se pierde algo sumamente importante: la especificidad del desarrollo de las manifestaciones humanas, en este caso la ciencia. Uno de los grandes problemas a los que se enfrentan los modelos evolucionistas de la ciencia es el de la intencionalidad humana, ya que es evidente que la producción azarosa de variaciones biológicas no es análoga a la producción intencionalmente adecuada de las ideas para explicar el mundo. En este aspecto la estrategia de Hull consiste, por una parte, en restarle importancia a la intencionalidad de los científicos al realizar su trabajo y, por otra, en establecer que la variabilidad biológica tampoco es completamente azarosa pues se encuentra limitada por circunstancias genéticas, estructurales y

las exigencias de la sociedad moderna, pero a la que totalmente se le escapa la existencia -y validez- de criterios de conocimiento distintos; c) precisamente por esta ausencia de carácter histórico se es acritico con la forma actual del trabajo y desarrollo científico; se describe a la ciencia como actualmente es, sin poderla estudiar desde una perspectiva diferente a aquélla a la que nos condena el empirismo histórico; así, por ejemplo, se establece que la competitividad y el elitismo son caracteres inherentes al trabajo científico.

La flexibilidad y la originalidad de las explicaciones de tipo selectivo conduce a la identificación de éstas con el mecanismo de la selección natural, específico de la evolución biológica. Es decir, se considera que este tipo de explicaciones, que no son ni estrictamente causales ni descriptivo-generales (Martínez, S. 1992), deben hermanarse por completo con la explicación selectiva más exitosa que se conoce: la de la selección natural. Al hacer esto se pierde algo sumamente importante: la especificidad del desarrollo de las manifestaciones humanas, en este caso la ciencia. Uno de los grandes problemas a los que se enfrentan los modelos evolucionistas de la ciencia es el de la intencionalidad humana, ya que es evidente que la producción azarosa de variaciones biológicas no es análoga a la producción intencionalmente adecuada de las ideas para explicar el mundo. En este aspecto la estrategia de Hull consiste, por una parte, en restarle importancia a la intencionalidad de los científicos al realizar su trabajo y, por otra, en establecer que la variabilidad biológica tampoco es completamente azarosa pues se encuentra limitada por circunstancias genéticas, estructurales y

de desarrollo. Sin embargo, como hemos visto, una intencionalidad definida no como "voluntad individual:" abstracta, sino como práctica llevada a cabo por los individuos y las comunidades en medio de unas circunstancias históricamente dadas es imprescindible para comprender la producción y desarrollo de las teorías científicas. ¿Cómo explicar entonces el trabajo de Watson y Crick, dirigido durante meses a un objetivo expresamente definido? De hecho cualquiera de los ejemplos de construcción teórica citados en la presente reconstrucción histórica es imposible de explicarse como producto del azar.

La falta de claridad de Hull al definir a los "interactores" del proceso de cambio conceptual, así como sus referencias "dawkinianas" al papel de unas ideas independientes de un sujeto que interaccionan entre si, y que solo en ocasiones parecen "adherirse" a un científico determinado, se relacionan -creemos- con esta ausencia de la noción de "intencionalidad". Por no colocar a la intención en donde debe estar -las mentes de los científicos y los grupos social e históricamente delimitados por una serie de intereses específicos - Hull la localiza en unas ideas, conceptos, métodos y objetivos científicos que parecen moverse por sí mismos. Esta autonomía de los contenidos de la ciencia con respecto a los sujetos, es análoga a la autonomía de los genes egoistas de Dawkins con respecto al organismo que los porta.

Ahora bien, en esta época en la que nadie parece querer comprometerse con la noción de progreso -ni biológico ni social- Hull denomina a su análisis como un "modelo del cambio conceptual". La palabra "cambio" confiere un valor neutro al

proceso de producción científica: las cosas pueden cambiar sin que ello implique una mejoría o desarrollo en cierta dirección.

Evidentemente no es fácil argumentar a favor del progreso científico cuando el desarrollo tecnológico -íntimamente relacionado- nos ha llevado a un estado de crisis en donde los peligros ecológicos y bélicos son mayores que en toda la historia de la humanidad. Sin embargo existen ramas del conocimiento en donde podemos observar un desarrollo que, si bien contradictoriamente, se traduce en una mayor eficiencia en la incidencia del hombre sobre la naturaleza, lo cual sería idéntico a afirmar que el progreso existe. Es decir, que utilizando este criterio especialmente moderno -el de eficiencia material-, la ciencia sí se desarrolla progresivamente. Y sin embargo, a pesar de ser un modelo específicamente aplicable al cambio conceptual en la ciencia moderna, el modelo de Hull no adopta una postura definida al respecto. Si bien es cierto que Hull es uno de los principales críticos de la noción de progreso biológico y científico (Hull, 1988, 1991), también es cierto que la organización social de la ciencia que propone supuestamente coadyuva en el logro de una cada vez mayor objetividad y adecuación del conocimiento a la realidad, por lo tanto, debiera defender alguna idea de progreso.

Existe un elemento más que complica las cosas en relación a la postura de Hull frente al progreso científico: el ejemplo específico que utiliza para su reconstrucción histórica en Science as a Process, la taxonomía o sistemática de los seres vivos, es un objeto muy especial dentro de las disciplinas científicas. Ello se debe a que no resulta claro cómo es que los debates entre escuelas sistemáticas rivales, ni la parcial

sustitución de unas por otras en la literatura especializada, ha producido un desarrollo de los métodos de clasificación biológica, bajo los criterios aceptados para el resto de disciplinas científicas. En efecto, Hull reconstruye con exactitud el auge relativo y sucesivo de las escuelas evolucionista, feneticista y cladista, pero ello no nos aclara si en la actualidad nuestros métodos de clasificación biológica sean mejores que antes; de hecho, Hull reconoce que la taxonomía aún tiene mucho de "arte", y de ser así no podríamos aplicarle el criterio de eficiencia relativo a la ciencia moderna. Al terminar de leer el libro de Hull uno se pregunta, paradójicamente, si el mecanismo propuesto realmente produce la adhesión de los científicos a los valores considerados propios de la ciencia.

Lo anterior no sólo pone en duda el que la sistemática sea un buen ejemplo para estudiar y evaluar el desarrollo de disciplinas científicas más estrictas como la física y la química, sino la equivalencia entre "mayor adecuación inclusiva conceptual" y "mejor adecuación/descripción a la 'realidad' natural". Así, tenemos que en la sistemática los grupos o departamentos de investigación se pueden "dar el lujo" de ignorar los métodos y conceptos del rival, mientras que en la biología molecular tenemos una menor delimitación de los "linajes conceptuales"; Crick, por ejemplo, utiliza en todo su trabajo los métodos, datos, ideas y aún el "estilo" de Pauling; y en la utilización forzada de los datos de Franklyn vemos la necesidad intrínseca de este intercambio. Lo anterior queda clarificado en la reconstrucción histórica aquí realizada por la escasa coincidencia entre un supuesto "árbol filogenético conceptual" y un "árbol del linaje de los científicos": en efecto, la reconstrucción de la historia de los

linajes de los científicos o grupos de ellos (interactores) no parece decirnos mucho acerca de la evolución de los linajes conceptuales (replicadores), a menos que consideremos prioritariamente sus intercambios e interacción, contrariamente a la propuesta de Hull de que la "estructura démica" (dividida) de los científicos es lo fundamental.

El aspecto del modelo de la ciencia de Hull que mejor se adecúa a nuestra reconstrucción histórica es el de la construcción "colectiva" de la objetividad científica mediante la contrastación rigurosa de los datos y resultados del rival cuando no se adecúan a los propios. En este sentido la organización démica de la ciencia propuesta por Hull demuestra ser una unidad de estudio adecuado para comprender el trabajo crítico indispensable a la investigación científica, pero tan difícil de realizar para los directamente implicados.

Además, el modelo de Hull -como en general los modelos historiográficos- es adecuado para resaltar aspectos de la ciencia que podrían pasar inadvertidos a un análisis realizado desde una perspectiva menos general y "estructurada" (Olivé, 1990). En particular el trabajo de Hull es un excelente análisis de la ciencia moderna, cuya "comunidad de científicos" no se organiza homogéneamente, sino que se divide en pequeños grupos y demos mayores que facilitan la producción, difusión y estabilidad de las ideas.

Teniendo siempre en mente el "linaje conceptual" al que pertenece el propio Hull -la estrategia reduccionista de la teoría evolutiva identificada especialmente con la sociobiología- sabemos que se trata de un modelo que, bajo el supuesto de la

importancia central de la base empírica, intenta retratar a la ciencia como en general aparece a los ojos de un observador. Por ello, el objetivo de Hull de construir una "ciencia de la ciencia" se encuentra tan lejano del desarrollo historiográfico de tipo crítico de otras escuelas, más cercanas a las ciencias sociales y humanidades. Como todo modelo, cuyo objetivo inherente es simplificar la realidad a unos cuantos elementos organizados, el modelo de Hull no podrá resolver todas nuestras cuestiones. Quizá le hemos pedido demasiado. Como dice Chargaff con respecto al modelo de la doble hélice del DNA:

"Yo diría que debemos seguir siendo cautos[...]. En la ciencia los modelos son necesarios como perchas de las que hay que colgar ideas y teorías, pero suelen ser simplificaciones. Pueden ser útiles para pensar[...], pero su valor epistemológico es algo limitado" (citado por Judson, 1987 p. 141).

APENDICE.

LISTA DE ARTICULOS ORIGINALES DE LA BIOLOGIA MOLECULAR
EN RELACION A LA REVISTA ESPECIALIZADA EN QUE APARECIERON

El enlistado que presentamos tiene el objetivo de señalar, de manera preliminar, algunos patrones de publicación de los diferentes grupos de investigación. Podemos destacar los siguientes puntos: 1) A pesar de su importante tradición Science y Nature fueron utilizadas en la etapa inicial de la biología molecular tan sólo para hacer públicos resultados de importancia excepcional; 2) Proceedings of the National Academy of Science USA fué la revista a la que contribuyeron con mayor constancia los biólogos moleculares del periodo tratado en este trabajo, mientras que el Journal of Molecular Biology lo fué en una etapa posterior, indicando que se trata de una revista aparecida por la necesidad de espacios propios de la biología molecular; 3) los artículos clave de Chargaff y de Avery, MacLeod y McCarty aparecieron en revistas poco recurridas por la comunidad naciente de los biólogos moleculares.

Revista: Science

Autor	Año	Título o Tema
Muller, H. J.	1927	Transmutación del gen
Stanley, W. M.	1935	Aislamiento y cristalización del VMT
Kendrew, J. C.	1963	Mioglobina y estructura proteínica

Revista: Nature

Bohr, N.	1933	"Luz y Vida"
Watson, J. y F. Crick	1953	Estructura del DNA
"	"	"
		Implicaciones genéticas del modelo de
Litman, R. y A. Pardee	1956	Bacteriófagos mutantes por perturbaciones e
Gerer, A. y G. Schramm	1956	Infectividad del RNA del VMT
Brenner, S., F. Jacob y		
Messelson, .	1961	Intermediario inestable entre genes y ribos
Cricf, F., L. Barnett y		
R.J. Watts-Robin	1961	Naturaleza general del código genético
Perutz, M.	1970	Estereoquímica de hemoglobina

Revista: Journal of Molecular Biology

Pardee, A., F. Jacob y		
J. Monod	1959	Control genético y expresión de inducibilidad
Sinsheimer, R.L	1959	DNA de una cadena de fago fi-X174
Freese, E.	1959	Efecto mutagénico de análogos de base en fag
Jacob, F. y J. Monod	1961	Mecanismos regulatorios genéticos

Nomura, M. y S. Benzer 1961 Naturaleza del metabolismo del DNA
 Kollenberg, G. Zichichi,
 M y J.J. Weigle 1961 Mutación afectando DNA del fago lambda
 Monod, J., F. Jacob. y
 Chang, . 1963 Proteínas alostéricas
 Tomisawa, J. y N.
 Anrakul 1964 Mecanismos moleculares de recombinación gené

Revista: Proceedings of the National Academy of Science USA

Beadle y Tatum 1941 Control bioquímico en Neurospora
 Hotchkiss, R.D. 1949 Comportamiento cíclico en crecimiento de neu
 Novick, A. y L. Szilard 1950 Mutaciones sensibles a temperatura en bacter
 Pauling, L. y R. Corey 1951(8) Estructura de las proteínas (alfa hélic
 Hotchkiss, R y J. Marmur 1954 Marcadores de transformación en DNA
 Benzer, S. 1955 Estructura genética fina de una región del
 Messelson, M. y F. Stahl 1958 Replicación semiconservativa del DNA
 McQuillen, K., R. Roberts 1959 Síntesis de proteína naciente en ribosomas
 y R. Britten de E. coli
 Lengyel, P., F. Speyer
 y S. Ochoa 1961 Polinucleótidos sintéticos y código de amino
 Nirenberg, M., J. Matthaei 1961 Dependencia de síntesis proteica en poliribon
 Loeb, T. y N. Dzinder 1961 Bacteriófago con RNA
 Messelson, M. y J. Weigle 1961 Ruptura del cromosoma durante recombinaci
 Streisinger, G., R. Edgar
 y G. Denhardt 1964 Estructura del cromosoma en el fago T4

Wollman, E.L., F. Jacob
y W. Hayes 1956 Conjugación y recombinación genética en E.c

Revista: Journal of General Physiology

Ellis, E. y M. Delbruck 1939 "Crecimiento en un paso" del bacteriófago
Hershey, A. y M. Chase 1952 Funciones independientes de la proteína y
ácido nucleico viral

Revista: Biochemical and Biophysical Acta

Monod, J. A. Pappenheimer
y G. Cohen-Bazine 1952 Cinética de la biosíntesis de b-galactosid
Beukers, R. y W. Berends 1954 Efecto de la radiación UV en el DNA

Revista: Journal of Bacteriology

Lederberg, J. 1952 Replicación y formación de placas bacteria
Zinder, N. y J. Lederberg 1952 Intercambio genético en Salmonella
Bertani, G. y J. Weigle 1953 Variaciones controladas de virus bacterian

Revista: Virology

Kaiser, A. y F. Jacob 1957 Recombinación entre fagos temperados
Calef, E. y G.
Licciardello 1960 Expresión de recombinación en profago y hos

Revista: Annales Institute Pasteur

Lwoff, A. y A. Gutmann 1957 Lisogenia de bacilos

Revista: Experientia

Chargaff, E. 1950 Especificidad química de los ács. nucleico

Revista: Journal of Experimental Medicine

Avery, McLeod y 1944 Inducción de transformación en pneumococos
McCartney (papel genético del DNA)

BIBLIOGRAFIA

Abir-Am, P. G. 1980. From Biochemistry to Molecular Biology: The Acculturated Journey of the Critic of Science Erwin Chargaff. Hist. Phil. Life Sciencea. 2(1980):3-60.

-- 1982a. The discourse of Physical Power and Biological Knowledge in the 1930's: A Reappraisal of the Rockefeller Foundation's Policy in Molecular Biology. Social Studies of Science. 12(1982):341-382.

-- 1982b. Essay Review: How Scientists View Their Heroes: Some Remarks on the Mechanism of Myth Construction. Journal of the History of Biology. 15(2):281-315.

-- 1984. Beyond Deterministic Sociology and Apologetic History; Reassessing the impact of Research Policy upon new Scientific Disciplines. (Reply to Fuerst, Bartels, Olby and Voxen). Social Studies of Science. 14(1984):252-63.

-- 1991. Essay Review: Nobelesse oblige: Biological Writings on Nobelists. Isis. 82(312):326-343.

Allen, G. 1982. La ciencia de la vida en el siglo XX. Breviario del Fondo de Cultura Económica. México.

-- 1991. Essay Review: On David Hull's Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science and The Metaphysics of Evolution. Isis. 82 (314): 698-704.

Avery, O.T., C. McLeod, and M. McCarty. 1944. Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. Induction of transformation by a deoxyribonucleic acid fraction isolated from pneumococcus type III. J. Exp. Med. 79(137).

Bernal, J. D. (1958) 1981. La Ciencia en la Historia. Editorial Nueva Imagen/UNAM. México.

Beatty, J. 1980. The insights and oversights of Molecular Genetics: the place of the evolutionary perspective. PSA 1980 Vol. 1:341-355.

Blanc, M. 1981. Las teorías de la evolución hoy. Mundo Científico. 12(2):289-303.

Bloch, M. (1949) 1991. Introducción a la Historia. Breviario del Fondo de Cultura Económica. México.

Bohr, N. (1933). Light and Life. Nature. 131:421-423, 457-459

Boyd, R. and P. J. Richerson. 1985. Culture and Evolutionary Progress. The University of Chicago Press.

Bradie, M. 1986. Assessing Evolutionary Epistemology. Biology and Philosophy, 1(1986):401-459.

Braudel, F. (1968)1984. La Historia y las Ciencias Sociales. Alianza Editorial, Madrid.

Cairns, J., G. S. Stent and J. D. Watson(eds). 1966. Phage and the Origins of Molecular Biology. Cold Spring Harbor Laboratory.

Campbell, D. 1974. In:Schilpp, P. A. (ed): 1974. The Philosophy of Karl Popper. Open Court. La Salle, Ill.

-- 1977. Comment on "The Natural Selection Model of Conceptual Evolution". Philosophy of Science. 44:502.

-- 1990 Epistemological Roles for Selection Theory. In: Rescher, N. Evolution, Cognition and Realism. University Press of America. New York.

Carson, H. L. 1975. The genetics of speciation at the diploid level. American Naturalist. 109:83-92.

Carbonell, C. O. (1981) 1986. La Historiografía. Breviario del Fondo de Cultura Económica, México.

Castañeda, M (ed). 1985. Antología de Biología Molecular. Lectu Universitarias, U.N.A.M.

Chargaff, E. 1950. Chemical specificity of the nucleic acids and mechanisms of their enzymatic degradations. Experientia. 6(201).

Coleman, W. 1982. La biología en el siglo XIX . Breviario del Fondo de Cultura Económica. México.

Crick, F. H. C. 1987. Ruthless research in a cupboard. New Scientist, 1561(21 may, 1987):38-41.

--- 1991. The structure of the hereditary material. Sci. Am. Special Issue: Science in the 20th century. 3(1):82-91.

Culp, S. and P. Kitcher. 1989. Theory structure and theory change in contemporary Molecular Biology. Brit. J. Phil. Sci. 40(1989):459-483.

Dawkins, R. 1978(1985). El gen egoísta. Biblioteca Científica Salvat, Barcelona.

-- 1982. The extended phenotype. Cap. 10. An agony in five fits. Oxford Univ. Press. London.

Delbruck, M. 1966. Un físico se asoma a la biología. En: Castañeda, M. 1982. Antología de Biología Molecular. Lecturas Universitarias, UNAM.

-- 1986. Mente y Materia. Ensayo de Epistemología Evolutiva. Stent, G. S. et al. (comps.). Alianza Editorial. Madrid

Doolittle, W. F. and C. Sapienza. 1980. Selfish genes, the phenotype paradigm and genome evolution. Nature. (284):601-603.

Dover, G. 1982. Molecular drive: a cohesive mode of species evolution. Nature. (299):111-117.

Dou, A. (ed). 1983. Evolucionismo y Cultura. Biblioteca Fomento Social. Bilbao, España.

Eldredge, N. 1981. La macroevolución. Mundo Científico. 16(2):792-803.

Eldredge, N. and S. J. Gould. 1972. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: Schopf T. J. M. (ed). Models in Paleobiology. 82-115. San Francisco, Freeman, Cooper.

Ellis, E. and M. Delbruck. 1939. The growth of bacteriophage. J. Gen. Physiol, 22(365).

Futuyma, D. J. 1979. Evolutionary Biology. Sinauer.

Gould, S.J. 1980. Is a new and general theory of evolution emerging? Paleobiology. 6(1):119-130.

Gould, S.J. 1982. Darwinism and the expansion of evolutionary theory. Science. (216):380-387.

Gould, S. J. 1982a. The meaning of punctuated equilibrium and its role in validating a hierarchical approach to macroevolution.

In: Perspectives on evolution. ed. R. Milkman, 83-104. Sunderland
Sinauer.

Gould, S. J. and N. Eldredge. 1986. Punctuated equilibrium at the
third stage. Systematic Zoology. (35):143-148

Gould, S. J. and R. Lewontin. 1979. The spendrels of San Marco
and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist
Program. Proc. Roy. Soc. Lond.B 205:581-598.

Hamilton, W. D. 1964. The genetical theory of social behavior.
Journal of Theoretical Biology. 7:1-51.

Hershey, A.D. and M. Chase. 1952. Independent functions of viral
protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. J. Gen.
Physiol. 36(39).

Hotchkiss, R. D. 1949. Cyclical behavior in pneumococcal growth
and transformability occasioned by enviromental changes. Proc.
Natl. Acad. Sci. USA. 40(49).

Hull, D. L. 1972. Reduction in Genetics -Biology or Philosophy?.
Philosophy of Science. 39(4):491-499.

-- 1974. Philosophy of Biological Science. Prentice Hall.
USA. 147pp.

-- 1974. Informal Aspects of Theory Reduction. PSA 1974:653-670.

- 1978. Genetique et reductionism. La Recherche. 87(9):220-228.
- 1981. Reduction and Genetics. The Journal of Medicine and Philosophy. 6(1981):125-143.
- 1988. Science as a Process: An Evolutionary Account of the Social and Conceptual Development of Science. The University of Chicago Press. Chicago, Ill.
- 1988a. A mechanism and its metaphysics: an evolutionary account of the social and conceptual development of Science. Biology and Philosophy. 3(2): 123-155.
- 1989. The Metaphysics of Evolution. State University of New York (Cap. 3 "Planck's Principle":43-61).
- 1991. Progress in Ideas of Progress. In:
- Jacob, F. (1970)1986. La Lógica de lo Viviente. Biblioteca Científica Salvat. Barcelona
- Judson, F. H. 1981. El ADNA: Clave de la Vida. Conacyt, México.
- . 1987. El octavo día de la creación. Ediciones Castell Mexicana, S.A./Conacyt. 736pp.
- Jungck, J. R. 1982. Is the neodarwinian synthesis robust enough to withstand the challenge of recent discoveries in molecular

biology and molecular evolution? PSA 1982. Vol. 2:322-328

Kay, L. E. 1985. Conceptual models and analytical tools: the biology of the physicist Max Delbruck. J. Hist. Biol. 18:207-246.

Kendrew, J. C. 1966. Information and conformation in Biology. In: Rich, A. and N. Davidson (eds), Structural Chemistry and Molecular Biology, 187-197. San Francisco.

Kimura, M. 1983. The neutral theory of molecular evolution. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Kohler, R. E. 1984. Partners in science. Foundations and Natural Scientists. 1900-1945. The University of Chicago Press.

Kuhn, T. S. 1975. Notas sobre Lakatos. En: Lakatos, I. y A. Musgrave. La crítica y el desarrollo del conocimiento. Grijalvo, Madrid.

-- (1962)1982. La estructura de las revoluciones científicas. Breviario del Fondo de Cultura Económica. México.

-- (1977)1987. La Tensión Esencial Fondo de Cultura Económica, México.

Lakatos, I. 1975. La falsación y la metodología de los programas de investigación científica. En: Lakatos, I. y A. Musgrave. 1975. La crítica y el desarrollo del conocimiento. Edit. Grijalvo.

Lakatos, I. 1975. La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales. En: Lakatos, I. y A. Musgrave. 1975. La crítica y el desarrollo del conocimiento. Edit. Grijalvo.

Laudan, L. Progress or Rationality? The Prospects for Normative Naturalism. American Philosophical Quarterly. 24(1):19-31, New York, 1987.

Levy, M. H. 1980. The Reduction by Synthesis of Biology to Physical Chemistry. PSA 1980. Vol.2:151-159..

Lewontin, R. C. 1970. The units of selection. Ann. Rev. of Ecology and Systematics 1:1-18.

--- 1977. Sociobiology -a caricature of darwinism. PSA 1977. Vol. 2.

Lewontin, R. C., S. Rose and L. J. Kamin.1984. Not in our genes: biology, ideology and human nature. Pantheon Books, New York.

Limoges, C.(1970)1981 .La selección natural Alianza Editorial, Madrid.

Luria, S. and M. Delbruck. 1943. Mutations of Bacteria from virus sensitivity to virus resistance. Genetics,28(491).

Mayr, E. 1982. The growth of Biological Thought. Diversity, Evolution and Inheritance. The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Martinez, S. 1992. En prensa.

Olby, R. C. 1974. The Path to the Double Helix. University of Washington Press, Seattle.

Olivé, L. 1988. Conocimiento, Sociedad y Realidad. Fondo de Cultura Económica. México.

--- 1990. Qué hace y qué hacer en la Filosofía de la Ciencia. Revista Ciencias. 19(julio, 1990):27-34.

Orgel, L.E. y F.H. Crick 1980. Selfish DNA: the ultimate parasite. Nature. (284):604-607.

Popper, K. R. (1934)1972. La lógica de la investigación científica. Editorial Tecnos, Madrid.

-- (1972)1977. Conocimiento Objetivo: un enfoque evolucionista Edit. Tecnos, Madrid.

Popper, K. 1974. Replies to my critics. In: Schilpp, P.A. (ed). The philosophy of Karl Popper. La Salle (Illinois).

Richards, R.J. Natural selection and other models in the historiography of science. En: Brewer, M. B. y B. E. Collins (eds). Scientific Inquiry and the social sciences. 1981. Jessey Bass Publ. San Francisco.

Ruse, M. 1987. Tomándose a Darwin en Serio. Biblioteca Científica

Salvat, Barcelona.

Salthe, S. 1985. Evolving Hierarchical Systems. Their structure and representation. Columbia University Press, New York.

Sarkar, S. 1989. Reductionism and molecular biology: a reappraisal. Ph.D. Dissertation. Chicago: University of Chicago, Department of Biology.

-- 1990a. Book Review: Thinking about Science: Max Delbruck and the origins of Molecular Biology. By Ernst Peter Fisher and Carol Lipson. Norton. Perspectives in Biology and Medicine. 33(4):612-616.

-- 1990b. On the possibility of directed mutations in bacteria: statistical analyses and reductionist strategies. PSA 1990, 1: 111-124.

-- 1991a. Reductionism and functional explanation in Molecular Biology. Uroboros 1(1):1-26.

-- 1991b. Models of Reduction and Categories of Reductionism. Synthese (in press)

Shaffner, K. F. 1980. Theory structure in the biomedical sciences. Journal of Medicine and Philosophy. 5:57-97.

Schrodinger, N. (1944) 1983. Qué es la vida? Tusquets Editores. Barcelona. 139pp.

Stebbins, G.L. and F. Ayala. 1981. Is a new evolutionary synthesis necessary? Science. (213):967-971.

Stent, G. 1968. That was the molecular biology that was. Science 160:390-395.

Stent, G.S. and R. Calendar. 1978. Molecular Genetics. W.H. Freeman & Co. Sn. Fco.

Stone, L. (1981) 1986. El pasado y el presente. F.C.E. México

Suárez, E. M. 1991. Los genes egoístas. La Jornada Semanal, Nueva Epoca, 120:38-43 (29 sept. 1991).

Summers, W. C. 1991a. From culture as organism to culture as cell; historical origins of bacterial genetics. Journal of the History of Biology. 24(2).

-- 1991b. How and why Bacteriophage came to be used by the Phage Group. Presentation at the ISHPSSB Meeting, Evanston, Ill. July, 1991.

Trivers, R. L. 1971. The evolution of reciprocal altruism. Quarterly Review of Biology. 40:35-57.

Timofeev-Ressovsky, N. W., Zimmer, K. and Delbruck, M. 1935. Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur. Nachrichten der gelehrten. Gesselschaften der Wissenschaften, Math.-Phys.Kl., Frachgruppe, 6(13):190-245.

Publishing Co.

Yoxen, E. J. 1979. Where does Schrodinger 'Waht is life?' belong in the history of molecular biology? History of Science, 17:17-52.

Toulmin, S. 1972. Human Understanding: The collective use and evolution of concepts. Princeton Univ. Press, New Jersey.

Trivers, R. L. 1971. The evolution of reciprocal altruism. Quarterly Review of Biology. 40-35-57.

Watson, J.D. (1968)1981. La doble hélice. Conacyt, México.

--- 1987. Minds that live for science. New Scientist. 1561(21 may, 1987):63-65.

Watson, J.D. and F.H.C. Crick. 1953. Molecular Structure of Nucleic Acids. A structure for deoxyribose nucleic acid. Nature. April 25:737

Williams, G. C. 1966. Adaptation and Natural Selection. Princeton: Princeton University Press.

-- 1971. Group Selection. New York: Aldine-Atherton

Wilson, E.O. (1975) 1980. Sociobiology. The abridged Edition. The Belknap Press of Harvard Univ. Press. 366pp.

Wuketits, F. M. 1984. Evolutionary epistemology --a challenge to science and philosophy. In: Wuketits, F. M. (ed). Concepts and approaches in evolutionary epistemology, 1-33. D. Reidel Publishing Co.

Ycas, M. 1969. The Biological Code Amsterdam: North Holland